

PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G02B 5/18	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 95/25288 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 21. September 1995 (21.09.95)
--	-----------	---

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT95/00051 (22) Internationales Anmeldedatum: 17. März 1995 (17.03.95) (30) Prioritätsdaten: A 569/94 17. März 1994 (17.03.94) AT (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): BIFOCON OPTICS FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSGMBH [AT/AT]; Kärntner Strasse 13-15, A-1010 Wien (AT). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FIALA, Werner [AT/AT]; Staudgasse 88, A-1180 Wien (AT). (74) Anwälte: TORGLER, Paul usw.; Wilhelm-Greilstrasse 16, A-6020 Innsbruck (AT).	(81) Bestimmungsstaaten: AU, CA, CN, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>
--	---

(54) Title: ZONED LENS

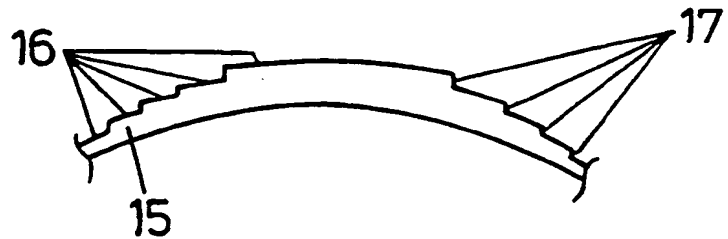
(54) Bezeichnung: ZONENLINSE

(57) Abstract

A zoned lens comprises at least two adjacent zones (16) formed such that the differences between the optical path lengths between an object point and a pixel of light beams extending through these two adjacent zones (16) of the lens (15) are at least equal to half the coherence length of the light used, preferably at least equal to the coherence length of the light used.

(57) Zusammenfassung

Zonenlinse, die mindestens zwei benachbarte Zonen (16) umfaßt, die derart ausgebildet sind, daß jeweils die Differenzen der optischen Weglängen zwischen einem Objektpunkt und einem Bildpunkt von Lichtstrahlen, die durch diese zwei benachbarten Zonen (16) der Linse (15) verlaufen, mindestens gleich der halben Kohärenzlänge des verwendeten Lichts, vorzugsweise mindestens gleich der Kohärenzlänge des verwendeten Lichts, sind.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

Zonenlinse

Die Erfindung betrifft eine Zonenlinse.

5

Unter Linsen werden hier allgemein sowohl refraktive Linsen als auch diffraktive Linsen (z.B. Fresnel'sche Zonenplatten) verstanden. Auch einem mit einem feinen Loch versehenen Diaphragma können, wie in der Figuren-
10 beschreibung ausgeführt wird, effektive Brechkräfte zugeordnet werden. Es werden daher hier auch optische Elemente mit nominaler Brechkraft Null aber beschränkter Apertur, wie beispielsweise kreisförmige oder kreisringförmige Platte mit paralleler Vorder- und Hinterflächen als "Linsen" verstanden.
15

Verschiedene Zonen einer Linse stellen durch physikalische Eigenschaften unterscheidbare Bereiche einer Linse dar, wobei sich die physikalischen Eigenschaften zwischen den Zonen in einem verhältnismäßig kleinen Bereich sehr rasch bzw. sprungartig ändern. Insbesondere begrenzen stufenartige Sprünge der Dicke des verwendeten Linsenmaterials, also beispielsweise Stufen auf der Vorder- oder Rückfläche der Linse, verschiedene Zonen
20 einer Linse. Auch die Verwendung von verschiedenen Linsenmaterialien in verschiedenen Bereichen der Linse führt zu einer Zonenlinse im hier verwendeten Sinn. Die geometrische Anordnung der verschiedenen Zonen kann dabei auf unterschiedlichste Weise ausgebildet sein. Beispielsweise kann eine zentrale kreisförmige Zone vorge-
25 sehen sein, an der außen konzentrische kreisringförmige Zonen angrenzen. Die Flächeninhalte der verschiedenen Zonen können dabei gleich oder verschieden sein.
30

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Zonenlinse mit neuen optischen Eigenschaften bereitzustellen. Erfindungsgemäß gelingt dies dadurch, daß sie mindestens zwei benachbarte Zonen umfaßt, für die jeweils die Differenzen der optischen Weglängen zwischen einem Objektpunkt und einem Bildpunkt von Lichtstrahlen, die durch diese zwei benachbarten Zonen der Linse verlaufen, mindestens gleich der halben Kohärenzlänge des verwendeten Lichts, vorzugsweise mindestens gleich der Kohärenzlänge des verwendeten Lichts, sind. Befinden sich in den verschiedenen Zonen optische Materialien mit verschiedenen Brechungsindizes, so kann für eine solche Ausgestaltung günstigerweise vorgesehen sein, daß zwei beliebige achsparallele Strahlen durch zwei benachbarte Zonen optische Weglängen innerhalb der Linse durchlaufen, die sich um mindestens die Kohärenzlänge unterscheiden. Bestehen benachbarte Zonen aus dem gleichen Linsenmaterial, so sollen die optischen Weglängen zweier beliebiger achsparalleler Strahlen durch die zwei benachbarten Zonen um mindestens den Betrag $KL \cdot n_c / (n_c - n_i)$ verschieden sein, wobei KL die Kohärenzlänge des verwendeten Lichts, n_c der Brechungsindex des Linsenmaterials und n_i der Brechungsindex des die Linse umgebenden Mediums sind. Für die Werte $n_c = 1.5$ und $n_i = 1$ ergibt sich dieser Betrag beispielsweise zu $3 \cdot KL$. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn beispielsweise zwischen den Zonen Stufen vorgesehen sind, deren Höhe durch $KL / (n_c - n_i)$ gegeben ist. mit den gewählten Werten für n_c und n_i und einer Kohärenzlänge von beispielsweise 2 Mikrometern ergibt sich eine Stufenhöhe von 4 Mikrometern.

In dem Fall, daß die Differenzen der optischen Weglängen der Lichtstrahlen, welche durch benachbarte Zonen der Linse verlaufen, zwischen einem Objektpunkt und einem Bildpunkt mindestens gleich der Kohärenzlänge des

verwendeten Lichts sind, kommt es zu keinen Interferenzen der durch die benachbarten Zonen verlaufenden Lichtstrahlen, wie in der Figurenbeschreibung noch genauer ausgeführt werden wird, wodurch sich in verschiedenen Anwendungen Vorteile gegenüber herkömmlichen Lin-
5 sen erzielen lassen. Beispielsweise können bei bifokalen Linsen störende Interferenzen zwischen den Bereichen mit unterschiedlichen Brennweiten ausgeschaltet werden.

10 Werden die Stufen so ausgeführt, daß die optischen Weglängendifferenzen der Lichtstrahlen durch benachbarte Zonen zwischen einem Objektpunkt und einem Bildpunkt zwar kleiner als die Kohärenzlänge, mindestens
15 jedoch gleich der halben Kohärenzlänge des verwendeten Lichts sind, so werden die Interferenzen der durch benachbarte Zonen verlaufenden Lichtstrahlen zwar reduziert, aber nicht vollständig unterdrückt, was für gewisse Anwendungsfälle ausreichend sein mag. Zonenlinsen
20 mit solchen reduzierten Stufen stellen daher ebenfalls erfindungsgemäße Gegenstände dar.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß benachbarte Zonen der Linse eine unterschiedliche
25 Dicke aufweisen, wobei zwischen den Zonen Stufen vorgesehen sind. Dabei soll die Stufenhöhe zwischen benachbarten Zonen der Linse mindestens $|\lambda^2 / (\Delta\lambda (n_c - n_i))|$ betragen, wobei λ die mittlere Wellenlänge des verwendeten Lichts, $\Delta\lambda$ die Halbwertbreite der Wellenlängenverteilung des verwendeten Lichts n_c den Brechungsindex
30 des Linsenmaterials und n_i den Brechungsindex des an die Linse angrenzenden Mediums bezeichnen. Die Kohärenzlänge ist gegeben durch $KL = \lambda^2 / \Delta\lambda$. Bei Verwendung von sichtbarem Licht mit einer Kohärenzlänge im Bereich
35 von ca. 1-10 μm soll dann die Stufenhöhe gemessen in

- Mikrometern zwischen benachbarten Zonen der Linse mindestens $5/|n_c - n_i|$ betragen, wobei n_c den Brechungsindex des Linsenmaterials und n_i den Brechungsindex des an die Linse angrenzenden Mediums bezeichnen.
- 5 Günstigerweise wird eine Stufenhöhe von mindestens 3 Mikrometern vorzugsweise mindestens 10 Mikrometern vorgesehen. Da die üblichen Linsenmaterialien einen Brechungsindex von ca. 1,5 aufweisen und da das von mit "weißem" Licht angestrahlten Gegenständen reemittierte
- 10 Licht Kohärenzlängen aufweist, die normalerweise im Bereich von $3\ \mu\text{m}$, kaum jedoch über $5\ \mu\text{m}$ liegen, können mit einer solchen Stufenhöhe Interferenzen zwischen den verschiedenen Zonen wirkungsvoll unterdrückt werden.
- 15 Eine solche erfindungsgemäße Zonenlinse kann nun beispielsweise so ausgebildet sein, daß eine zentrale kreisförmige Zone vorgesehen ist und darumherum konzentrische kreisringförmige Zonen anschließen, wobei die Flächeninhalte aller Zonen gleich sind. Mit einer
- 20 solchen Zonenlinse können die sonst widersprüchlichen Forderungen einer breiten Verteilung der effektiven Brechkraft und einer hohen Intensität des durchgelassenen Lichts erfüllt werden, wie in der Figurenbeschreibung genauer ausgeführt wird. Um Streulicht
- 25 von den seitlichen Stufenflächen zwischen den Zonen auszuschließen, ist bei dieser Ausführungsform der Erfindung günstigerweise vorgesehen, die seitlichen Flächen der Stufen zwischen den Zonen mit einem lichtabsorbierenden Material zu versehen.
- 30 Die optische Weglänge eines Lichtstrahls von einem Objektpunkt durch die Linse bis zu einem zu diesem Objektpunkt gehörenden konjugierten Bildpunkt setzt sich zusammen aus den beiden Beiträgen außerhalb der Linse
- 35 und dem Beitrag innerhalb der Linse. Mit den oben ange-

fürten Vorkehrungen wird erreicht, daß sich die optischen Weglängen von Lichtstrahlen durch zwei benachbarte Zonen um mindestens die Kohärenzlänge unterscheiden. Gibt es - wie im Falle von multifokalen Linsen - mehrere zu einem Objektpunkt konjugierte Bildpunkte, so sind die optischen Weglängen durch benachbarte Zonen zwischen dem Objektpunkt und jeweils demselben Bildpunkt zu messen. Jeder der vorhandenen konjugierten Bildpunkte, welche dabei reel oder virtuell sein können, kann dazu verwendet werden.

Die Bestimmung eines zu einem bestimmten Objektpunkt gehörigen konjugierten Bildpunktes ist bekannter Stand der Technik. Beispielhafte Vorgangsweisen dazu werden aber in der Figurenbeschreibung nochmals kurz erläutert.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden im folgenden anhand der beiliegenden Zeichnung erläutert.

In dieser zeigen:

- Fig. 1a und 1b schematische Darstellungen der Öffnungswinkel von strahlenden Flächen,
- 25 Fig. 2 eine Verteilung der effektiven Brechkraft einer Linse,
- Fig. 3 die Abhängigkeit der Halbwertbreite der Verteilung der effektiven Brechkraft von der Linsenapertur,
- 30 Fig. 4 die Abhängigkeit der auf die Wellenlänge des Lichts normierten Halbwertbreite der effektiven Brechkraft von der Linsenfläche,
- Fig. 5 Verteilungen von effektiven Brechkräften bei verschiedenen Linsenaperturen,

- Fig. 6 einen Vergleich der Interferenzmuster einer Kreisfläche mit einer flächengleichen Kreisringfläche,
- Fig. 7 Remissionsspektren verschiedener Gegenstände,
- 5 Fig. 8a eine Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 8b eine zweite Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 9 eine dritte Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 10 Fig. 10 eine erfindungsgemäße Kontaktlinse,
- Fig. 11 eine Hilfszeichnung zur Konstruktion einer Linse,
- 10 Fig. 12 die Verteilung der effektiven Brechkräfte einer erfindungsgemäßen Linse im Vergleich mit einer konventionellen Linse mit einer zehnmal kleineren Fläche,
- 15 Fig. 13a und 13b Verteilungen der effektiven Brechkräfte von Bifokallinsen ohne und mit Interferenz zwischen den Zonen,
- Fig. 14 eine Verteilung der effektiven Brechkraft einer Linse aus doppelbrechendem Material,
- 20 Fig. 15 eine weitere Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 16 einen Vergleich der effektiven Brechkräfte einer konventionellen Linse mit der eines Systems bestehend aus einer konventionellen Linse und einer erfindungsgemäßen Linse,
- 25 Fig. 17 bis 20 weitere Ausführungsformen der Erfindung,
- Fig. 21 einen Vergleich der effektiven Brechkräfte verschiedener konventioneller und erfindungsgemäßer refraktiver bifokaler Zonenlinsen,
- 30 Fig. 22 die Abhängigkeit der optischen Weglängen vom Abstand der Strahlen vom Linsenmittelpunkt für den zur Brechkraft von -5 Diptrien gehörenden Bildpunkt,

- Fig.23 eine weitere Ausführungsform der Erfindung,
Fig.24 die Abhängigkeit der optischen
Weglängendifferenzen vom Abstand der Strahlen
vom Linsenmittelpunkt bei einer konventionel-
len refraktiven bifokalen Zonenlinse,
Fig.25 die Abhängigkeit der optischen Weglänge vom
Abstand der Strahlen vom Linsenmittelpunkt
einer erfindungsgemäßen bifokalen Zonenlinse
bei einer effektiven Brechkraft von 3,75 Di-
optrien.

Bekanntlich ist der Öffnungswinkel der von einer
strahlenden Fläche abgegebenen Strahlung umso größer je
kleiner die strahlende Fläche ist. Diese physikalische
Tatsache kann anhand von Interferenzbetrachtungen er-
klärt werden: Fig. 1a zeigt schematisch eine kleine
Fläche 1, die z.B. kohärentes Licht 2 emittiert, wobei
alle ausgesandten Teilwellen am Ort der Emission iden-
tische Phase haben mögen. Der Öffnungswinkel α_A , bei
dem erstmals destruktive Interferenz zwischen den Rand-
strahlen bzw. -wellen auftritt, ist größer als der Win-
kel α_B bei den analogen Verhältnissen der Fig. 1b. Aus
diesen Gegebenheiten ist auch unmittelbar abzuleiten,
daß z.B. eine Linse kleiner Apertur eine größere Tie-
fenschärfe aufweist als eine Linse größerer Apertur.

Eine praktische Anwendung dieser Gegebenheit stellt die
sogenannte stenopäische Brille dar: Gemäß z.B. Graefe-
Saemisch: Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Verlag
von Wilhelm Engelmann, Leipzig 1910, Seite 178 werden
als stenopäische Brillen "alle jene Vorrichtungen be-
zeichnet, bei welchen eine größere Schärfe des Netz-

hautbildes nicht durch Änderung des Strahlenganges"

(Anm.: refraktionsoptische Vorrichtungen)

"herbeigeführt wird, sondern dadurch, daß man die Größe der Zerstreuungskreise durch passende Blenden möglichst zu verringern sucht, also durch Beschränkung des einfallenden Strahlbündels. Die einfachste Form solcher Brillen ist ein mit einem feinen Loch versehenes Diaphragma".

Die Nachteile solcher stenopäischer Brillen sind im wesentlichen in der Herabsetzung der Lichtstärke und in der Einschränkung des Gesichtsfeldes zu sehen; weiters verringert sich allgemein mit zunehmender Tiefenschärfe das Auflösungsvermögen bzw. der Kontrast von optischen Vorrichtungen. Bei verschiedenen optischen Anwendungen ist aber die Verringerung des Kontrastes bzw. Auflösungsvermögens akzeptabel.

Der Nachteil des eingeengten Gesichtsfeldes kann durch Heranführung des Lochs an das Auge gemindert werden, d.h. durch Ausführung der "Brille" als Kontaktlinse (bzw. als Intraokularlinse). Dem Nachteil der verminderten Lichtintensität wird gelegentlich dadurch begegnet, daß mehrere Löcher nebeneinander angebracht werden (s.Graefe-Saemisch, loc.cit.). Bei nebeneinanderliegenden Löchern kommt es aber zu Interferenzen zwischen den Lichtwellen aus den verschiedenen Löchern, was sich nachteilig auf die Abbildungsqualität auswirkt.

Mit der gegenständlichen Erfindung kann eine strahlende Fläche so gestaltet werden, daß jeder einzelne Teilbereich dieser Fläche praktisch unbeeinflußt von den übrigen Teilbereichen dieser Fläche Strahlung emittiert, daß also die Interferenzmuster hinter den einzelnen Teilbereichen unabhängig voneinander existieren und so-

mit die von verschiedenen Teilbereichen kommenden Wellenzüge nicht interferieren. Dadurch kann z.B. die Lichtstärke von stenopäischen Brillen bzw. Linsen erheblich erhöht werden, ohne die aus der Beschränkung der einfallenden Strahlenbüschel auf sehr kleine Aperturen sich ergebenden optischen Vorteile zu vermindern. Weiters können mit der vorliegenden Erfindung Linsen relativ großer Apertur hergestellt werden, die die Tiefenschärfe von Linsen sehr kleiner Apertur besitzen, dabei aber wesentlich größere Lichtintensitäten durchlassen als die entsprechenden Linsen kleiner Apertur. Weiters können mit der vorliegenden Erfindung Vorrichtungen geschaffen werden, mit denen konventionelle Linsen großer Apertur die optischen Charakteristika von Linsen kleiner Apertur verliehen werden können. Solche "stenopäischen Linsen" großer Apertur bzw. Lichtstärke können in optischen Geräten und optischen und ophthalmischen Vorrichtungen vielfältig verwendet werden. Beispielsweise können damit ophthalmische Sehbehelfe hergestellt werden, die zur Korrektur der Alterssichtigkeit und/oder zur Korrektur des Astigmatismus dienen. Weiters ist es mit der vorliegenden Erfindung möglich, bi- oder multifokale Zonenlinsen herzustellen, bei denen Interferenzen zwischen den einzelnen Zonen unterdrückt werden. Es ist auch möglich, bi- oder multifokale Linsen herzustellen, bei denen ausschließlich Zonen gleicher nomineller Brechkraft interferieren können. Schließlich ist es mit der vorliegenden Erfindung möglich, Fresnel'sche Zonenplatten herzustellen, die gegenüber herkömmlichen Fresnel'schen Zonenplatten eine im wesentlichen verdoppelte Lichtausbeute aufweisen.

In Fig. 2 ist die Verteilung der effektiven Brechkraft einer Linse von 1 mm Durchmesser und nominell 4 Diop-

trien dargestellt, das heißt es ist die Intensität des Lichts 2 gegen die effektive Brechkraft D_{eff} aufgetragen. Wie ersichtlich, stellt diese Linse wegen ihrer kleinen Apertur von 1 mm ein breites Spektrum von effektiven Brechkraften bei. Als Maß für die Verteilungsbreite der Brechkraft wird die Halbwertbreite P der Verteilung genommen,; für die in Fig. 2 ausgewertete Linse beträgt die Halbwertbreite (für eine Lichtwellenlänge von 560 nm) ca. 4 Dioptrien.

Die Berechnung der Verteilung der effektiven Brechkräfte einer Linse - wie sie z.B. in Fig. 2 dargestellt ist - kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Im folgenden seien zwei Methoden kurz beschrieben:

Methode 1:

Von einem Objektpunkt O, der sich auf der Linsenachse g Meter vor der Linsenvorderfläche befindet, werden j Verbindungsstrahlen zu j auf der Vorderfläche der Linse gleichverteilten Punkten gezogen. Von jedem der j Punkte auf der Vorderfläche werden sodann k Verbindungslinien zu k gleichverteilten Punkten auf der Hinterfläche der Linse gezogen. (Bei numerischer Auswertung ist es sinnvoll, die j bzw. k Punkte in einem orthogonalen Netz aufzuspannen.) Sodann werden die k Punkte auf der Hinterfläche mit einem Bildpunkt B verbunden, der sich auf der Linsenachse b Meter hinter der Linse befindet (g und b können auch negative Werte annehmen).

Damit gibt es insgesamt $j \cdot k$ Wellenzüge, die den Objektpunkt O mit dem Bildpunkt B verbinden. Für jeden dieser $j \cdot k$ Wellenzüge werden dann die optischen Weglängen L_{jk} zwischen O und B bestimmt. Die resultierende Amplitude im Bildpunkt B ergibt sich dann zu

Die beiden Methoden führen zum praktisch gleichen Ergebnis, wenn über genügend viele Strahlen bzw. Punkte aufsummiert wird. Da bei der Methode 2 der Rechenaufwand wesentlich geringer ist, ist diese Methode zu bevorzugen. Auch die weiter unten angeführte Kennzeichnung von Linsen wird auf der Grundlage der Methode 2 erfolgen. Zur Ermittlung verschiedener effektiver Brechkräfte D_{eff} kann weiters der Bildabstand b konstant gehalten und nur der Gegenstandsabstand g variiert werden, wodurch der $1/r$ -Abfall der Amplitude nicht explizit berücksichtigt werden muß.

Bezüglich der oben angeführten Formel für die effektive Brechkraft D_{eff} ist zu bemerken, daß eine gegebene Objektweite g_k mit der konjugierten Bildweite b_k (beziehungsweise eine gegebene Bildweite b_k mit der konjugierten Objektweite g_k) näherungsweise wie folgt zusammenhängt.

20

$$D = 1/g_k + 1/b_k$$

wobei D die nominelle Brechkraft der Linse ist. Diese Näherung ist für dünne Linsen, bei denen die beiden Hauptebenen praktisch zusammenfallen, zutreffend. Weiters gelten diese Beziehungen nur für Linsen in Luft bzw. Vakuum. Setzt man die konjugierten Werte g_k und b_k in die Beziehung für die effektive Brechkraft D_{eff} ein, so erhält man damit nur für dünne Linsen in Vakuum die nominelle Brechkraft der Linse. Für andere Fälle stellt die obige Beziehung ($D_{\text{eff}} = 1/g + 1/b$) eine Definition einer "effektiven" Brechkraft D_{eff} dar.

Befindet sich vor der Linse ein Medium mit dem Brechungsindex n_v und hinter der Linse ein Medium mit

$$A_{res} = \text{Const.} \left(\sum \sin \phi_{jk} + \sum \cos \phi_{jk} \right) ; \phi_{jk} = (L_{jk}/\lambda) 2\pi,$$

5 wobei λ die Wellenlänge des Lichts ist. Die Summenbildung ist über alle j und k zu erstrecken. Die in B resultierende Intensität ist dann A_{res}^2 .

Die zugehörige "effektive Brechkraft" D_{eff} ist weiters gegeben durch

10

$$D_{eff} = 1/g + 1/b$$

Verteilungskurven, wie die in Fig. 2 gezeigte, erhält man dann durch Veränderung von g oder b ; man kann auch
15 beide Werte g und b gleichzeitig variieren.

Methode 2:

Wie in Methode 1 verbindet man einen Objektpunkt O mit
j gleichverteilten Punkten auf der Vorderfläche der
20 Linse. Diese Verbindungslinien stellen dann j Lichtstrahlen dar, für die man das Brechungsgesetz anwendet, um die j gebrochenen Lichtstrahlen innerhalb der Linse zu erhalten. Die gebrochenen j Lichtstrahlen treffen in j Punkten auf die Hinterfläche der Linse auf; nun wird
25 jeder dieser j Punkte der Hinterfläche mit dem Punkt B verbunden. Damit erhält man j Wellenzüge zwischen den Punkten O und B und somit Lj verschiedene optische Weglängen der j Wellenzüge. Die resultierende Amplitude in B ist dann gegeben durch

30

$$A_{res} = \text{Konst} * (\sum \sin \phi_j + \sum \cos \phi_j) \quad \text{mit } \phi_j = (L_j/\lambda) * 2\pi$$

Die Summenbildung ist nun über alle j Wellenzüge zu erstrecken.
35

dem Brechungsindex n_h , so sind die konjugierten Objekt- bzw. Bildweiten mithilfe der Berechnung des Strahlenganges durch die Linse zu bestimmen. Dabei sind die Ablenkungen der Strahlen an den brechenden Linsenflächen mittels des Snell'schen Brechungsgesetzes zu berechnen. Im Falle von sphärisch gekrümmten Linsenflächen und kleinen Linsenaperturen kann man dabei die fundamentale Beziehung

$$n_1/a + n_2/b = (n_2 - n_1)/r$$

verwenden, wobei n_1 der Brechungsindex vor und n_2 der Brechungsindex hinter der brechenden Fläche mit dem Kugelradius r sind, und wobei a und b die entlang einer Normalen auf die brechende Fläche gemessenen Abstände vor und hinter der brechenden Fläche sind. In jedem Falle lassen sich die konjugierten Objekt- und Bildweiten für einen von einem Objektpunkt ausgehenden Lichtstrahl bestimmen; weiters kann mithilfe der hier angeführten - und bekannten - Überlegungen eine Linse oder Linsenzone so gestaltet werden, daß alle vom Objektpunkt stammenden Lichtstrahlen in denselben konjugierten Bildpunkt gebrochen werden, siehe unten.

Die Abhängigkeit der ΔP der Verteilung der effektiven Brechkraft von der Linsenapertur A (und der Wellenlänge) ist in Fig. 3 dargestellt. Angemerkt wird, daß diese Halbwertbreite unabhängig von der nominellen Brechkraft der Linse ist.

Fig. 4 kann aus den Ergebnissen der Fig. 3 hergeleitet werden. Wie ersichtlich, kann die Halbwertbreite ΔP der Brechkraftverteilung in guter Näherung durch die in Fig. 4 als durchgezogene Linie dargestellte Funktion

$$\Delta P = \lambda * 0.0056/F$$

angegeben werden, wobei ΔP die Halbwertbreite in Diop-
trien, λ die Wellenlänge in nm und F die strahlende
5 Linsenfläche in mm² ist.

Die Abnahme der Halbwertbreite mit zunehmender Linsen-
fläche ist aus den Ergebnissen der Fig. 5 zu sehen, in
der die auf die Linsenfläche F normierte Intensität I
10 des Lichts gegen diese effektive Brechkraft D_{eff} für
eine Linse mit einer nominellen Brechkraft von vier Di-
optrien aufgetragen ist. Die Linse mit einer Apertur A
von $3.16 = \sqrt{10}$ mm hat eine zehnmal größere Fläche als
jene von 1 mm Durchmesser, entsprechend kleiner ist die
15 Halbwertbreite (und damit die Tiefenschärfe) der größe-
ren Linse.

Für das Verständnis der gegenständlichen Erfindung ist
nun wesentlich, daß das in Fig. 6 abgebildete Interfe-
renzmuster (7) hinter einer kreisförmigen strahlenden
20 Fläche 5 dem Interferenzmuster (8) hinter einer zu die-
ser kreisförmigen Fläche konzentrischen Kreisringfläche
6 ist, wenn die Flächeninhalte der Kreisfläche 5 und
der Kreisringfläche 6 identisch sind; dieses Ergebnis
25 ist unmittelbar z.B. aus der Theorie der Fresnel'schen
Zonenplatte abzuleiten.

Zur Intensitätsvervielfachung wird nun die Kreisfläche
mit einer an sich beliebig großen Anzahl von konzentri-
30 schen Kreisringflächen umgeben. Um die optischen Eigen-
schaften strahlender Flächen kleinen Flächeninhalts zu
erhalten, muß bei einem System solcher kleiner Flächen
aber die Interferenz der Wellen aus den einzelnen klei-
nen Flächen unterbunden werden. Die Interferenz von
35 Wellen aus verschiedenen Teilbereichen einer strahlen-

den Fläche kann nun dadurch unterbunden werden, daß die Teilbereiche so ausgestaltet werden, daß sich die optischen Weglängen der Wellen aus verschiedenen Teilbereichen um mindestens die Kohärenzlänge des emittierten (bzw. re-emittierten) Lichtes unterscheiden; dabei werden die optischen Weglängen vom Ort der Lichtemission bis zum untersuchten Ort der Interferenz bzw. Nicht-Interferenz gemessen (Bildpunkt bzw. potentieller Bildpunkt).

10

Wie in Standardwerken (z.B. Bergmann-Schäfer, Optik, S.331 ff, Max Born, Optik, Berlin-Heidelberg, New York 1972, S.111) dargelegt wird, kommen zwei Lichtwellen praktisch nur dann zur Interferenz, wenn deren optische Weglängendifferenz kleiner ist als die Kohärenzlänge $K.L. = \lambda^2/\Delta\lambda$, wobei λ die mittlere Wellenlänge und $\Delta\lambda$ die Halbwertbreite der Wellenlängenverteilung des von der Lichtquelle ausgesandten Spektrums ist. Die Kohärenzlänge von "weißem Licht" beträgt (s.Bergman-Schäfer loc.cit.S.333) ca. 1 μm ; diesen Wert erhält man unmittelbar durch Einsetzen von $\lambda = 550 \text{ nm}$ und $\Delta\lambda = 300 \text{ nm}$ (weißes Licht umfaßt einen Wellenlängenbereich von ca. 400 bis 700 nm).

15

20

25

30

Bei optischen und ophthalmischen Anwendungen gilt es in der Regel, Licht, das von Gegenständen re-emittiert wird, zu verarbeiten. In Fig. 7 sind Re-emissionsspektren von blauem Autolack 10, vom Blatt eines Rosenstrauchs 11 und von einem gelben Apfel gezeigt. Die Kohärenzlängen von diesen Gegenständen liegen bei 2 μm , 3,6 μm und 2,3 μm . Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, daß die Kohärenzlängen des von Gegenständen emittierten sichtbaren Lichtes kaum Werte von ca. 5 - 10 μm übersteigt (Laserlicht, das in einem ex-

trem schmalen Wellenlängenbereich emittiert wird, besitzt demgegenüber Kohärenzlängen von vielen Metern).

5 Um nun z.B. die einzelnen Zonen einer Linse so zu gestalten, daß die Lichtwellen durch die verschiedenen Zonen hinter der Linse nicht interferieren, genügt es, die Zonen so auszugestalten, daß die optischen Weglängen der mit den Lichtwellen assoziierten Lichtstrahlen durch die verschiedenen Zonen Unterschiede von mindestens der Kohärenzlänge aufweisen. Solche Zonenlinsen
10 bzw. optische Vorrichtungen werden in Zukunft "kohärenzlängenkorrigiert" genannt.

In Fig. 8a ist eine mögliche Ausführungsform dargestellt. Die Linse 15 ist so geformt, daß jede ihrer Zonen 16 eine nominell gleiche Brechkraft aufweist (die nominelle Brechkraft ist dann jene Brechkraft, bei der die Verteilungskurve für die effektive Brechkraft das Maximum hat; siehe Fig. 2). Die Krümmungen der Vorder- bzw. Hinterfläche der Zonen 16 können dabei anhand bekannter Linsenformeln berechnet werden. Weiters können die Zonen 16 so ausgeführt sein, daß die optischen Weglängen aller Strahlen durch eine gegebene Zone 16, gemessen von einem Objektpunkt durch die Zone 16 hindurch bis zum der nominellen Brechkraft entsprechenden konjugierten Bildpunkt (im Falle von negativen Linsen bzw. Zonen 16 ist der Bildpunkt virtuell), genau gleich sind (für solche Linsen bzw. Linsenzonen wird gelegentlich der Ausdruck "aplanatisch" verwendet). Die einzelnen Zonen 16 der Linse sind nun aber verschieden dick, so daß an den Grenzen zwischen den Zonen Stufen 17 entstehen. Die Höhen der einzelnen Stufen 17 zwischen den Zonen 16 müssen nun mindestens $K.L./(n_1 - n_i)$ betragen, wobei n_i der Brechungsindex des an die Linse 15 angrenzenden Mediums und n_1 der Brechungsindex des Linsenma-
35

terials ist, damit die Unterschiede der optischen Weglängen der mit den Strahlen durch die verschiedenen Zonen 16 assoziierten Wellen größer als die Kohärenzlänge des verarbeiteten Lichts sind. Stellt die Linsenachse z.B. die z-Achse eines Koordinatensystems dar, so ist die Höhe der Stufen 17 der Absolutbetrag der Differenz zwischen der größten z-Koordinate der Vorder- oder Hinterfläche der einen Zone 16 und der kleinsten z-Koordinate der Vorder- oder Hinterfläche der an diese Zone 16 angrenzenden Zone 16.

Die Stufen können, wie bereits angeführt, natürlich entweder an der Vorderfläche oder der Hinterfläche der Linse angebracht sein, auch Ausführungen, bei denen beide Linsenflächen Stufen aufweisen, sind möglich. Um Streulicht von den seitlichen Flächen der Stufen 17 zu vermeiden, können diese mit einem lichtabsorbierenden Material bedeckt werden. Die Stufen zwischen benachbarten Zonen können auch schräg und/oder gekrümmt ausgeführt sein, sodaß benachbarte Zonen nicht durch Zylindermäntel sondern durch Kegelstumpfmäntel bzw. tonnenförmige Mäntel verbunden sind. Solche Mantelflächen können dann selbst als ringförmige Linsen geringer anteiliger Fläche und sehr großer absoluter Brechkraft angesehen werden. Der (geringe) Anteil des auf die Mantelflächen fallenden Lichts im Vergleich zum insgesamt auf die Linse fallenden Lichts wird dann von diesen Mantelflächen sehr stark gebrochen und tritt als Hintergrundintensität auf. Diese Bereiche sollen aber in diesem Zusammenhang nicht als "Zonen" der erfindungsgemäßen Zonenlinse angesehen werden, sondern nur als Übergangsbereiche zwischen benachbarten Zonen. Weiters kann es sinnvoll sein, auch solche Mantelflächen mit einer lichtabsorbierenden Schicht zu bedecken.

35

Eine Linse gemäß Fig. 8a kann z.B. als Kontaktlinse ausgebildet sein. In den letzten Jahren wurden auch Methoden entwickelt, refraktive Fehler des Auges durch entsprechende Ablation der Cornea selbst mittels eines Lasers (Excimer-Laser) zu korrigieren. Wegen der im Prinzip großen erreichbaren Genauigkeit bei der Abtragung cornealer Schichten mittels Laser ergibt sich die Möglichkeit, eine entsprechende Kohärenzlängenkorrektur auch direkt auf der Oberfläche der Cornea anzubringen. Der Brechungsindex n_i ist dann jener der Cornea (ca. 1.37).

Sind bei einer Linse Stufen an der Vorder- oder Hinterfläche nicht erwünscht, so können die erwünschten optischen Weglängenunterschiede auch durch Verwendung von Materialien mit verschiedenen Brechungsindizes in den einzelnen Linsenzonen erzeugt werden. Fig. 8b stellt schematisch eine solche Linse dar: Es wechseln Zonen 19 (nur zwei davon sind in Fig. 8b dargestellt), in denen ein Material mit einem Brechungsindex n_g verwendet wird, mit Zonen 20 ab, welche ein Material mit einem Brechungsindex n_k aufweisen (nur eine dargestellt), wobei $n_g > n_k$ ist. Für den Fall, daß alle Zonen 19,20 gleiche nominelle Brechkraft besitzen, sind nun die Krümmungen benachbarter Zonen 19,20 verschieden. Damit können die zu den einzelnen Zonen gehörigen theoretischen Mittendicken t_1, t_2, t_3, \dots gebildet werden. In guter Näherung sind dann die Unterschiede der optischen Weglängen für Strahlen durch die einzelnen Zonen (gemessen für die nominelle Brechkraft) gegeben durch

$$\Delta L_{12} = t_1 \cdot (n_g - 1) - t_2 \cdot (n_k - 1)$$

wobei ΔL_{12} die optische Weglängendifferenz zwischen den Strahlen durch die Zone 1 und durch die Zone 2 ist. In analoger Weise erhält man

$$\Delta L_{13} = t_1 \cdot (n_g - 1) - t_3 \cdot (n_g - 1)$$

Allgemein ist die Differenz ΔL_{1m} der optischen Weglängen zwischen einer Zone 1 und einer Zone m gegeben durch

$$\Delta L_{1m} = t_1 \cdot (n_1 - 1) - t_m \cdot (n_m - 1)$$

wobei t_1 und t_m die zu den Zonen 1 und m gehörigen Mittendicken sind, und n_1 und n_m die Brechungsindizes in den Zonen 1 und m. Den Beziehungen ist zu entnehmen, daß es durch entsprechende Wahl der Parameter (Brechungsindizes, Linsendicke) möglich ist, die Differenz der optischen Weglängen von Strahlen durch beliebige zwei Zonen größer als die Kohärenzlänge des verwendeten Lichts zu machen.

Im Falle von z.B. Kontaktlinsen kann eine stufenförmige Oberfläche zu Einbußen des Tragekomforts führen. Eine Kohärenzlängenkorrektur ist aber auch bei Linsen mit beidseitig glatten, d.h. stetigen Oberflächen möglich. Fig. 9 zeigt eine mögliche Ausführungsform. Die Stufenhöhen 21 bei dieser Ausführungsform sind nun mindestens $K.L. / (n_1 - n_2)$ groß, wobei K.L. die größte Kohärenzlänge des zu verarbeitenden Lichtes und n_1 und n_2 die Brechungsindizes der beiden Linsenmaterialien 22, 23 sind. Die einzelnen Linsenzonen weisen wiederum nominell gleiche Brechkraft auf.

Eine weitere mögliche Ausführungsform z.B. einer Kontaktlinse 24 ist in Fig. 10 gezeigt. Hier sind die Stufen 25 an der Rückfläche 24a der Linse 24 so ausgebildet, daß etwa 50% der Rückfläche 24a der Cornea 26 angepaßt werden können, wodurch guter Tragekomfort zu erzielen ist. Die Hälfte der Zonen 28 weist Vertiefungen auf, die sich mit Tränenflüssigkeit 27 füllen. Es ist nun möglich, eine stetige und stückweise differenzierbare - also eine im wesentlichen glatte - Vorderfläche 24b so zu gestalten, daß die Unterschiede der optischen Weglängen zweier durch verschiedene Zonen 28 gehenden Strahlen mindestens größer als die Kohärenzlänge des betrachteten Lichts ist. Diese Möglichkeit beruht auf folgender Gegebenheit (Fig. 11); Wenn eine Fläche, z.B. die Rückfläche 30 einer Linse oder Linsenzone gegeben ist (die Rückfläche ist rotations-symmetrisch aber nicht notwendigerweise sphärisch), so können bei gegebener Anfangsdicke t Punkte P_1 , P_2 , P_3 , ... der Vorderfläche 31 so berechnet werden, daß die Linse oder Linsenzone eine einheitliche Brechkraft besitzt bzw. "aplanatisch" ist. Die Verbindung aller P_i stellt dann die Vorderfläche 31 dar. Die Strahlen 34 gehen dabei von einem Objektpunkt 32 aus und laufen zu einem Bildpunkt 33. Analoge Überlegungen gelten bei vorgegebener Vorderfläche, wobei, wie im Falle der Linse gemäß Fig. 10, auch der Einfluß der Tränenflüssigkeitszonenlinse zu berücksichtigen ist.

Fig. 12 zeigt die Intensität I des Lichtes in Abhängigkeit von der effektiven Brechkraft D_{eff} , wobei in Kurve 35 der Intensitätsverlauf einer in 10 kohärenzlängen-korrigierte Zonen unterteilte Linse mit einer Apertur von 3,16 mm dargestellt ist. Wie ersichtlich ist, weist eine solche Linse bei 10-facher durchgelassener Lichtleistung eine Intensitätsverteilung der effektiven

Brechkraft auf, die jener einer zehnmal kleineren Linse mit nur einer Zone und einer Apertur von 1 mm (Kurve 36) entspricht. Werden die Zonen der Linse nicht kohärenzlängenkorrigiert, so ergibt sich demgegenüber eine
5 Verteilung der effektiven Brechkraft gemäß Fig. 5.

Bezüglich der mit den einzelnen effektiven Brechkräften einhergehenden Intensität ist zu sagen, daß die Kohärenzlängenkorrektur nicht zu einer Erhöhung der gesamten durch die Linse durchgelassenen Lichtleistung
10 führen kann, d.h. daß unabhängig von der Zonenstruktur unmittelbar hinter der Linse integral die gleiche Lichtleistung gemessen würde. Die Gestaltung der Zonen beeinflusst somit die örtliche Verteilung der gesamten
15 Lichtleistung, aber nicht die transmittierte Lichtleistung selbst.

Die Anforderungen bei der Fertigung solcher Linsen sind etwas geringer als jene, die bei der Fertigung von
20 konventionellen Diffraktionslinsen (siehe z.B. US 4,340,283, US 4,637,697) bestehen. Denn während bei Diffraktionslinsen die Höhe der Stufen auf ca. $1/10$ Wellenlängen bzw. ca. 50 nm genau ausgeführt sein muß (siehe z.B. Stanley A. Klein und Zhuo-Yan Ho,
25 "Multizone Bifocal Contact Lens Design, SPIE, Vol.679, p.25, Aug.86), ist bei kohärenzlängenkorrigierten Zonenlinsen lediglich gefordert, daß die Stufen einen gewissen Mindestwert (einige μm) überschreiten müssen.

30 Wie ersichtlich, besitzt eine Linse gemäß Fig.12 eine Halbwertbreite der Intensitätsverteilung von ca. 4 Dioptrien. Eine solche Linse eignet sich daher z.B. zur Korrektur der Alterssichtigkeit eines Hyperopen mit großer benötigter Fernaddition. Aufgrund des Intensitätsverlaufs dieser Linse funktioniert diese Linse am
35

besten für die Mitteldistanz. Wie bereits erwähnt, ist die Halbwertbreite der Intensitätsverteilung von der nominellen Linsenbrechkraft unabhängig, woraus folgt, daß solche Linsen bei Emmetropen, Hyperopen und Myopen eingesetzt werden können.

Ist die Bevorzugung der Mitteldistanz bei einer Kohärenzlängenkorrigierten Linse nicht erwünscht, so bietet sich die Möglichkeit, den Zonen einer solchen Linse z.B. abwechselnd verschiedene nominelle Brechkräfte zu geben. Fig. 13a zeigt die Abhängigkeit der Intensität I des Lichts von der effektiven Brechkraft D_{eff} bei einer solchen Bifokallinse, bei der jeweils 5 Zonen (Flächeninhalt jeweils $\pi/4 \text{ mm}^2$) eine nominelle Brechkraft von 2 bzw. 6 Dioptrien gegeben wird. Eine solche Linse stellt beispielsweise eine annähernd konstante Intensität von ca. 1 bis 7 Dioptrien zur Verfügung. Sind vergleichsweise die Zonen dieser Linse nicht kohärenzlängenkorrigiert, so ergibt sich die in Fig. 13b gezeichnete Verteilung der effektiven Brechkraft. Eine solche Linse wäre also trifokal, wobei die mittlere Brechkraft auf Interferenz von Lichtwellen aus den verschiedenen Zonen zurückzuführen ist. Ein ähnliches Ergebnis erhielten Klein und Ho (SPIE, loc.cit.) für eine bifokale refraktive Zweizonenlinse. Anzumerken ist, daß sogenannte refraktive Bifokallinsen z.B. gemäß US-PS 5,106,180 und PCT/JP92/01730 nicht kohärenzlängenkorrigierte Linsen darstellen, bei denen Interferenz zwischen Zonen verschiedener refraktiver Brechkraft zu beobachten ist.

Die Zonen einer Linse mit abwechselnd verschiedenen Brechkraften können, was sofort einzusehen ist, aus Material mit identischem Brechungsindex oder aus verschiedenen Materialien mit verschiedenen Brechungsindizes

zes gefertigt werden. Werden den Zonen verschiedene Brechungsindizes gegeben, so ist es möglich, beide Linsenoberflächen stetig bzw. glatt auszugestalten, wie den obigen Erläuterungen (Fig. 8b) zu entnehmen ist.

5 Wird für die Linse nur ein einziges optisches Material verwendet, so sind zwischen benachbarten Zonen Stufen vorzusehen; da die Stufenhöhen i.a. aber nur einige Mikrometer betragen, ist es auch bei den Stufenlinsen möglich, die Stufenfläche annähernd glatt auszubilden,

10 d.h. anstelle der Stufen Übergangsbereiche zu schaffen. Solche Übergangsbereiche entstehen praktisch zwingend bei der Fertigung solcher Linsen z.B. mittels Drehen, da die Drehwerkzeuge keinen unendlich kleinen Radius besitzen.

15 Eine weitere Möglichkeit, die Verteilung der effektiven Brechkraft zu verbreitern, besteht darin, eine kohärenzlängenkorrigierte Linse aus doppelbrechendem Material zu fertigen. Fig. 14 zeigt die Abhängigkeit

20 der Intensität I des Lichts von der effektiven Brechkraft D_{eff} einer Linse mit 4,5 mm Durchmesser, die in 10 Zonen gleichen Flächeninhalts unterteilt ist, wobei die Zonen kohärenzlängenkorrigiert sind. Die Linse wird aus einem doppelbrechenden Material gefertigt, dessen

25 Brechungsindizes 1.51 (für die ordentlichen Strahlen) und 1.66 (für die außerordentlichen Strahlen) betragen. In Kurve 40 ist die Intensität der außerordentlichen Strahlen, in Kurve 41 die Intensität der ordentlichen Strahlen und in Kurve 42 die Gesamtintensität einge-

30 tragen. Die einzelnen Zonen interferieren nicht, da sie kohärenzlängenkorrigiert sind, die ordentlichen und die außerordentlichen Strahlen interferieren nicht, weil bekanntlich zueinander orthogonal polarisierte Wellen nicht interferieren (s.z.B. Max Born, loc.cit.S.113).

35 Eine solche Linse kann z.B. zur Korrektur der Alters-

sichtigkeit eines Myopen von ca. -7 D Fernaddition verwendet werden. Es ist bekannt, daß durch Verwendung eines Polarisationsfilters in Verbindung mit doppelbrechenden Bifokallinsen wahlweise die eine oder andere
5 Brechkraft unterdrückt werden kann (s.z.B. US-PS 5,142,411).

Mit einem astigmatischen Auge kann bekanntlich in einem großen Entfernungsbereich scharf gesehen werden, wenn
10 durch ein Loch kleiner Apertur geschaut wird. Der Nachteil eines solchen Sehbehelfs ist hauptsächlich in der durch das Loch durchtretenden geringen Lichtintensität zu sehen. Wie gezeigt wurde, kann diese Lichtintensität erheblich erhöht werden, indem man anstelle des Loches
15 kohärenzlängenkorrigierte Zonenlinsen verwendet. Dabei kann diese Zonen-"linse" durchaus auch die nominelle Brechkraft Null besitzen.

Sind Einbußen des Kontrastes bzw. des Auflösungsvermögens bei einer solchen Korrektur des Astigmatismus
20 nicht erwünscht, so kann man Zonen größerer Fläche verwenden, die aber nicht als Kreisringe, sondern als "Ellipsenringe" ausgebildet sind. Während bei kreisringförmigen Zonen die beiden die Zone begrenzenden Radien der m-ten Zone durch $r_{m-1} = \text{Konst.} \cdot \sqrt{m-1}$ und $r_m = \text{Konst.} \cdot \sqrt{m}$ gegeben sind, gilt bei ellipsenförmigen Zonen ein analoges Bildungsgesetz für die beiden Achsen der Ellipsen. Stehen die großen Achsen der Ellipsen
25 z.B. vertikal, so weist die Linse in horizontaler Richtung eine breitere Verteilung der effektiven Brechkraft auf als in vertikaler Richtung (siehe z.B. Max Born, loc.cit.S.161); damit ist ein entsprechender Astigmatismus bis zu einigen Dioptrien Zylinder korrigierbar.
30 eine Linse mit elliptischen Diffraktionszonen aber ohne

Kohärenzlängenkorrektur wird zur Korrektur des Astigmatismus in der US-PS 5,016,977 vorgeschlagen.

5 Eine "Zonenlinse" 45 mit der Brechkraft Null ist schematisch in Fig. 15 gezeigt. Im gezeigten Beispiel sind die Begrenzungsflächen (45a, 45b) plan, weshalb diese Vorrichtung als Stufenplatte bezeichnet wird. Eine analoge Ausführung kann Zonen mit im wesentlichen gleichen vorderen und hinteren Krümmungsradien haben.
10 Der Einfachheit wird auch eine solchen Ausführung "Stufenplatte" genannt.

Aus dem bisher gesagten ist sofort abzuleiten, daß eine weitere Ausführungsform einer solchen Stufenplatte
15 darin bestehen kann, daß man in den einzelnen Zonen optische Materialien verwendet, die verschiedene Brechungsindizes aufweisen.

Eine Stufenplatte der genannten Art dient nun im
20 wesentlichen dazu, die optischen Weglängen der durch die einzelnen Zonen durchtretenden Wellen bzw. Strahlen derart zu verändern, daß diese Wellen nicht mehr zur Interferenz kommen können. Wenn eine solche Stufenplatte 45 in Verbindung mit einer konventionellen Linse
25 46, (vgl. Fig. 16) verwendet wird, so entspricht das optische Verhalten der Kombination jenem der oben diskutierten kohärenzlängenkorrigierten Stufenlinse mit nur einer nominellen Brechkraft. Ein solches System hat eine größere Halbwertbreite der Verteilung 47 der effektiven Brechkraft als die entsprechende Verteilung 48
30 der konventionellen Linse 46 allein.

Prinzipiell bietet sich die Möglichkeit, eine Stufenplatte in den Strahlengang optischer Geräte ggf. vor-
35 übergehend einzubringen, wenn z.B. die Tiefenschärfe

des Gerätes erhöht werden soll, beispielsweise bei einem Mikroskop, um das Objekt schneller zu finden.

5 Eine weitere Ausführungsform einer Stufenplatte 49 mit der nominellen Brechkraft Null ist schematisch in Fig. 17 dargestellt. Hier besitzen die einzelnen Zonen 50 z.B. Sechseckquerschnitt. Die Zonen sind so ausgebildet, daß sich jede Höhe 51 jeder Zone 50 um mindestens den Betrag $K.L./(n_z - n_u)$ von den Höhen sämtlicher anderer Zonen 50 unterscheidet. K.L. bezeichnet dabei die
10 Kohärenzlänge des verwendeten Lichts, n_z den Brechungsindex des Linsenmaterials und n_u den Brechungsindex des an die Linsen angrenzenden Mediums. Auf diese Weise ist wiederum gewährleistet, daß die durch verschiedene Zonen
15 50 durchtretenden Lichtwellen nicht zur Interferenz kommen können.

Wird eine Stufenplatte gemäß Fig. 17 in Verbindung mit einer konventionellen Linse verwendet, so erhält man
20 eine wesentlich engere Verteilungskurve für die effektive Brechkraft einer solchen Kombination als bei analoger Verwendung einer Stufenplatte gemäß Fig. 15, wenn man, wie bisher, die Intensitätsverteilung entlang der Linsenachse betrachtet. Betrachtet man hingegen die In-
25 tensitätsverteilung entlang der Verbindungslinie zwischen dem der nominellen Brechkraft entsprechenden Brennpunkt und dem Mittelpunkt der Zone, so erhält man bei zur Linsenachse parallelem Lichteinfall wiederum eine Intensitätsverteilung, deren Halbwertbreite der
30 Fläche der Zone entspricht (siehe Fig. 4). Jedenfalls kann auch eine solche Anordnung z.B. zur Erhöhung der Tiefenschärfe der Linse oder eines Linsensystems bzw. optischen Gerätes beitragen.

Angeführt wird, daß Vorrichtungen zur Umwandlung von kohärentem in inkohärentes bzw. nichtinterferierendes Licht, die oben Stufenplatte genannt wurde, auch andere Querschnitte der Zonen aufweisen können als Kreis, Kreisring oder Sechseck.

Selbstverständlich ist es möglich, eine Stufenplatte gemäß Fig. 17 und eine refraktive Linse in einem Stück zu kombinieren; bei der Gestaltung der Oberflächen der Zonen ist dann entsprechend der weiter oben angeführten Methode vorzugehen. Fig. 18 zeigt schematisch eine Linse 52, die kohärenzlängenkorrigierte Zonen gleicher Querschnittsform aufweist.

Bei den weiter oben diskutierten kohärenzlängenkorrigierten Zonenlinsen mit konzentrischen kreisringförmigen Zonen wurde davon ausgegangen, daß die Zonenflächen gleichen Inhalt haben (Fresnel'sche Zonenform). Es ist aber auch möglich, z.B. Zonen mit von innen nach außen zunehmendem Flächeninhalt zu verwenden. Dann verringert sich mit zunehmender Apertur der Linse bzw. zunehmender Pupillengröße die Tiefenschärfe bei gleichzeitiger Erhöhung des Kontrastes. Werden die einzelnen Zonen so ausgebildet, daß sie z.B. abwechselnd zwei verschiedene nominelle Brechkräfte aufweisen, so wird die Linse mit zunehmender Apertur zunehmend bifokal mit zunehmend deutlich voneinander abgegrenzten Brechkraften. Theoretisch ist auch das umgekehrte Verhalten zu erreichen, indem man die Flächeninhalte der Zonen von innen nach außen zunehmend kleiner macht.

Wie erwähnt, kommt es bei den konventionellen refraktiven bifokalen Zonenlinsen zu Interferenzen zwischen Zonen verschiedener nomineller Brechkraft. Sind nun solche Interferenzen unerwünscht, so bietet sich die Mög-

lichkeit, die einzelnen Zonen interferenzmäßig zu entkoppeln, indem man Stufen zwischen den benachbarten Zonen vorsieht. Fig. 19 zeigt eine mögliche Ausführungsform. Eine solche Zonenlinse 55 weist zwei Typen von Zonen 56, 56' auf, die sich in ihrer nominellen Brechkraft voneinander unterscheiden. Die Linse 55 ist dabei so konstruiert, daß die optischen Weglängen durch die Zonen (56 bzw. 56') gleicher nomineller Brechkraft für die Strahlen vom Objektpunkt zum entsprechenden konjugierten Bildpunkt (B_1 bzw. B_2) alle gleich sind. Um nun Fresnel'sche Interferenzen nach Möglichkeit zu vermeiden, ist es angebracht, die Flächen der Zonen gleicher Brechkraft ungleich zu machen. Solche Linsen stellen dann angenähert tatsächlich "refraktive" bifokale Zonenlinsen dar, d.h. daß die Interferenzen zwischen Zonen verschiedener refraktiver Brechkraft unterdrückt werden.

Bekanntlich können Fresnel'sche Zonenplatten dazu verwendet werden, elektromagnetische Wellen (in der ersten Interferenzordnung) zu fokussieren. Bei konventionellen Fresnel'schen Zonenplatten sind die Zonen abwechselnd transparent und opak ausgebildet, was zu einem Lichtintensitätsverlust von 50% (in der betrachteten Interferenzordnung) führt. In Fig. 20 ist nun eine erfindungsgemäße Modifikation der Fresnel'schen Zonenplatte dargestellt, bei der ein solcher Lichtverlust nicht auftritt. Die Zonen 61, 61' dieser Zonenlinse 60 sind so ausgebildet, daß die Zonen 61, 61' abwechselnde Dicke d_g und eine Dicke d_u aufweisen. Die Dicken sind so gewählt, daß $(d_u - d_g) \cdot (n_1 - n_2) > K.L.$ gilt, wobei K.L. die Kohärenzlänge der zu fokussierenden elektromagnetischen Strahlung, n_1 der Brechungsindex des Linsenmaterials und n_2 der Brechungsindex der Umgebung ist. Die beiden Typen von Zonen (61, 61') stellen dann

jeweils voneinander unabhängige Fresnel'sche Zonenplatten dar. Die Lichtausbeute einer solchen Zonenplatte 60 erhöht sich damit gegenüber einer konventionellen Zonenplatte um den Faktor 2.

5

Den einzelnen Zonen solcher modifizierter Zonenplatten können nun auch verschiedene nominelle Brechkräfte gegeben werden, wodurch die Zonenplatte bzw. Zonenlinse bifokal wird. In Weiterführung des Konzeptes könnte 10 eine solche Zonenlinse auch multifokal ausgebildet werden. Im Falle von bifokalen Zonenlinsen der vorgestellten Art wird in die jeweils nullte Interferenzordnung eine Hauptintensität gelenkt, und in die $\pm 1.$, $\pm 2.$, ... Ordnung weiteres Licht mit stark abnehmender Intensität. 15

Aus dem bisher gesagten ist unmittelbar abzuleiten, daß anstelle eines einzigen optischen Materials auch verschiedene optische Materialien in den einzelnen Zonen 20 verwendet werden können. Die Stufenausbildung einer der Oberflächen der Zonenplatte kann dann entfallen. Es können aber auch - wie im übrigen bei allen bisher besprochenen Linsen - Materialien verschiedener Brechungsindizes mit Stufenzonen kombiniert werden. 25

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Zonenplatten bzw. Zonenlinsen aus isotropen optischen Materialien mit konzentrischen kreisringförmigen Zonen wie folgt eingeteilt werden können: 30

Kriterium I: Geometrische Verhältnisse der Zonenflächen.

I.1 Fresnel'sche Zonen: Zonen besitzen gleich 35 große Flächen.

I.2 Beliebige Flächeninhalte der einzelnen Zonen

Kriterium II: Art der Kohärenzlängenkorrektur:

- 5 II.A Keine Korrektur (= konventionelle Zonenlin-
sen)
- II.B Gleiche optische Weglängen in Zonen gleicher
nomineller Brechkraft
- 10 II.C Optische Weglängen in verschiedenen Zonen um
mindestens die Kohärenzlänge verschieden.

Kriterium III: nominelle Brechkräfte der Zonen

- III.a Alle Zonen gleiche Brechkräfte
- 15 III.b Verschiedene Brechkräfte in verschiedenen Zo-
nen

Die jeweiligen Alternativen der drei Kriterien können beliebig miteinander kombiniert werden, um bestimmte optische Vorrichtungen zu erhalten. Wird beim Kriterium II die Möglichkeit A gewählt, so gelangt man zu bekannten konventionellen Linsen, die erfindungsgemäßen Möglichkeiten II.B und II.C führen dagegen zu neuartigen Linsen. So stellt die Kombination I.1 * II.C * III.a eine Linse dar, wie sie der Fig. 12 entspricht; konventionelle refraktive Zonenlinsen z.B. gemäß US-PS 5,106,180, US-PS 4,704,016, US-PS 4,795,462 oder PCT/JP92/01730 entsprechen der Kombination I.2 * II.A * III.b.

30

In Fig. 21 sind nun die Verteilungen der effektiven Brechkraft von verschiedenen bifokalen Linsen gegenübergestellt. Fig. 21a zeigt dabei die Verteilung einer konventionellen bifokalen Zonenlinse, im folgenden Linse A genannt, bei der alle Zonen 0,33 mm breit sind,

35

Fig. 21b die Verteilung einer erfindungsgemäßen bifokalen Zonenlinse (Linse B), bei der nur Interferenzen zwischen Zonen gleicher Brechkraft auftreten, Fig. 21c die entsprechende Verteilung, wenn alle Zonen unabhängig (kohärenzlängenkorrigiert) sind (Linse C). Die entsprechenden Verteilungen für flächengleiche Zonen der Linsen sind in den Fig. 21d-f dargestellt, wobei Fig. 21d wiederum einer konventionellen Linse (Linse D) mit stetigen Übergängen zwischen den Zonen und die Figuren 21e und 21f erfindungsgemäßen Linsen entsprechen, in den in Fig. 21e (Linse E) nur Interferenzen zwischen Zonen gleicher Brechkraft und in Fig. 21f (Linse F) keine Interferenzen zwischen den Zonen auftreten. Wie zu sehen ist, sind die konventionellen refraktiven Zonenlinsen (Linsen A und D) den jeweiligen kohärenzlängenkorrigierten Ausführungen (Linsen B, C, E und F) unterlegen. Die sehr breiten Intensitätsverteilungen der Linsen C und F sind darauf zurückzuführen, daß die voneinander unabhängigen Zonen sehr kleine Flächen besitzen. Ist höherer Kontrast erwünscht, so kann die Anzahl der Zonen verringert bzw. die Fläche der Zonen erhöht werden. Auffällig ist das praktische Fehlen der Brechkraft von -5 D bei der Linse A im Vergleich zur Linse B. Diese Gegebenheit wird sofort aus einem Vergleich der optischen Weglängen (für den zur Brechkraft von -5D gehörenden Bildpunkt) der durch die einzelnen Zonen gehenden Strahlen verständlich (s. Fig. 22): Die optische Weglängendifferenz zwischen allen Strahlen durch die Linse A (Kurve 65) beträgt lediglich ca. 2,8 μm , weshalb es im Bildpunkt der Brechkraft von -5D zu verschiedensten - offensichtlich vorwiegend destruktiven - Interferenzen kommt. Bei der kohärenzlängenkorrigierten Linse B (Kurve 66) kommt es hingegen ausschließlich zu konstruktiver Interferenz aller Strahlen der Zonen mit -5D Brechkraft, die Strahlen aus den anderen Zonen mit

-2.5D haben um mindestens 10 μm größere optische Weglängen, und interferieren deshalb nicht mit den Strahlen aus den Zonen mit -5D.

5 Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die konstruktiven Interferenzen in den Maxima der effektiven Brechkräfte bei allen kohärenzlängenkorrigierten refraktiven Zonenlinsen immer in der nullten Ordnung
10 praktisch keine chromatische Aberration auf, wie sie bei diffraktiven Bifokallinsen gegeben ist. Hingewiesen wird darauf, daß auch konventionelle refraktive Zonenlinsen eine sehr erhebliche Abhängigkeit der Brechkraftverteilung von der Wellenlänge des Lichtes besitzen, da es stets zu wellenlängenabhängigen Interferenzen zwischen den einzelnen Zonen kommt (siehe
15 Fig. 22).

In den bisherigen Ausführungen wurde stets davon
20 ausgegangen, daß die nominellen Brechkräfte der einzelnen Zonen refraktive Brechkräfte sind, d.h. daß diese Brechkräfte mit den Methoden der geometrischen Optik bestimmt werden können. Die gegenständliche Erfindung erstreckt sich aber auch auf Zonenlinsen, bei denen die
25 einzelnen jeweils zueinander kohärenzlängenkorrigierten Zonen diffraktive Brechkräfte aufweisen. Fig. 23 zeigt schematisch eine solche kohärenzlängenkorrigierte Diffraktionslinse 75. Wie zu sehen ist, weisen die einzelnen Zonen 76 diffraktive Subzonen (76', 76'', 76''') auf,
30 die optischen Weglängendifferenzen der Lichtstrahlen durch die Subzonen 76', 76'', 76''' bestehen dabei in bekannter Weise festen Beziehungen. Zwischen den optischen Weglängen der Lichtstrahlen durch die verschiedenen Zonen 76 gelten hingegen erfindungsgemäß die
35 Bedingungen der Kohärenzlängenkorrektur. Eine solche

Kohärenzlängenkorrektur ist dann vorteilhaft, wenn z.B. die Tiefenschärfe der beiden Brechkkräfte einer Diffraktionslinse erhöht werden soll, d.h. wenn die Intensitätsverteilungen in den beiden Brechkkräften verbreitert werden sollen. Weiters ist es aus fertigungstechnischen Gründen ggf. schwierig, die erforderlichen festen Phasenbeziehungen zwischen weit auseinanderliegenden diffraktiven Zonen zu verwirklichen; Fehler bei der Oberflächengestaltung von größenordnungsmäßig 0,1 Mikrometer zwischen inneren und außen liegenden Zonen können dann zu unerwünschten destruktiven Interferenzen von Licht aus solchen "verstimmten" Zonen führen. Demgegenüber ist es vergleichsweise einfacher, den erforderlichen Genauigkeitsgrad für benachbarte Subzonen 76, 76', 76" zu erreichen. Deshalb kann es zielführend sein, nur jeweils einige diffraktive Subzonen 76', 76", 76'" mit der erforderlichen Genauigkeit fertigen zu müssen und die aus den Subzonen 76', 76", 76'" bestehenden diffraktiven Zonen 76 jeweils interferenzmäßig zu entkoppeln. Mit solchen Linsen 76 erhält man dann in den Brechkkräften die Summen der Teilintensitäten der einzelnen Zonen und nicht die - bei verstimmten Zonen reduzierten - Vektorsummen der Amplituden.

Zur Verdeutlichung und Zusammenfassung der Erfindung werden in Fig. 24 die optischen Weglängendifferenzen D bei einer konventionellen refraktiven bifokalen Zonenlinse (nominelle Brechkkräfte 2,5 und 5,0 Dioptrien, welche die Zonen abwechselnd aufweisen) gezeigt; diese Linse ist also nicht kohärenzlängenkorrigiert. Fig. 24 zeigt die für verschiedene effektive Brechkkräfte D_{eff} gegebenen Weglängenunterschiede für Strahlen in verschiedenen Abständen A von der Linsenmitte. Wie zu sehen ist, haben alle Strahlen durch eine bestimmte Zone, wenn die nominelle Brechkraft dieser Zone der effekti-

ven Brechkraft entspricht, jeweils die gleiche optische Weglänge, wobei die Weglängen bzw. die Mittelwerte dieser Weglängen durch verschiedene dieser Zonen allerdings verschieden sind. Für eine effektive Brechkraft, die den Mittelwert der beiden nominellen Brechkräfte darstellt (im Beispiel 3,75 Dioptrien), sind die Mittelwerte der Weglängen der Strahlen durch alle Zonen allerdings gleich. Das erklärt das beobachtete Auftreten eines Intensitätsmaximums zwischen den beiden nominellen Brechkraften (vgl. Fig. 13b). In Fig. 25 ist zum Vergleich das Ergebnis für eine Ausführungsform einer kohärenzlängenkorrigierten refraktiven Zonenlinse mit den gleichen nominellen Brechkraften bei der effektiven Brechkraft 3,75 Dioptrien gezeigt. Bei dieser Linse befinden sich zwischen den einzelnen Zonen z.B. Stufen, die bewirken, daß die Differenz der optischen Weglängen zwischen zwei durch verschiedene Zonen in unmittelbarer Umgebung der gemeinsamen Zonenbegrenzung gehender Strahlen ca. 10 Mikrometer beträgt. Wie Fig. 25 zu entnehmen ist, kann für Kohärenzlängen unter ca. 10 Mikrometer keine Interferenz von Lichtwellen aus den verschiedenen Zonen stattfinden, was bedeutet, daß es für diese effektive Brechkraft zu einer Summierung der skalaren Intensitäten aus den einzelnen Zonen kommt (vgl. Fig. 13a). Selbstverständlich betragen die Unterschiede der optischen Weglängen von durch zwei benachbarte Zonen gehenden Strahlen auch für andere effektive Brechkraften bei den hier diskutierten Linsen ca. 10 Mikrometer, zur Charakterisierung der Verhältnisse eignen sich aber die Verhältnisse für die effektive Brechkraft, die dem Mittelwert zweier aneinandergrenzender Zonen verschiedener (oder auch gleicher) nomineller Brechkraft entspricht.

Die gegenständlichen Ausführungen behandeln die Verhältnisse für elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Bereich. Selbstverständlich können analoge Überlegungen auch für Vorrichtungen zur Verarbeitung von wellenförmiger Strahlung anderer Art und/oder anderer Wellenlängenbereiche angewendet werden.

Die in den bisherigen Ausführungen dargelegten Überlegungen zur Kohärenzlängenkorrektur von Zonenlinsen können natürlich auch auf die Verhältnisse von Spiegeln bzw. Zonenspiegeln für sichtbare elektromagnetische Strahlung oder auch für elektromagnetische Strahlung anderer Wellenlängenbereiche angewendet werden. Die Abbildungsgleichungen von Linsen können in einfacher Weise auf die Abbildungsverhältnisse von Spiegeln übertragen werden, siehe z.B. Bergmann-Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 3 Optik, Berlin New York 1993, Seite 88. Dadurch ist es für den Fachmann ohne Schwierigkeiten möglich, die obigen Überlegungen und Bedingungen auf die Verhältnisse abbildender Spiegel bzw. Spiegelsysteme anzuwenden. Deshalb sind auch abbildende Spiegelsysteme, bei denen eine Kohärenzlängenkorrektur durchgeführt wird, erfindungsgemäße Vorrichtungen, auch wenn solche nicht gesondert in ausführlicher Weise diskutiert werden.

Es ist, um ein Beispiel zu nennen, bekannt, daß ein Parabolspiegel parallel zur Spiegelachse einfallende elektromagnetische Strahlung in den Brennpunkt fokussiert. Es kann nun erwünscht sein, daß ein Spiegel die einfallende Strahlung in verschiedene Brennpunkte fokussiert. Dieses Ziel kann erreicht werden, wenn sich der Spiegel aus verschiedenen Zonen verschiedener Brennweite zusammensetzt. Werden solche Zonenspiegel derart ausgebildet, daß deren Oberfläche stetig ist, so

kann es zu störenden Interferenzen (z.B. destruktive Interferenzen) von Strahlung aus den einzelnen Zonen des Spiegels in den einzelnen Brennpunkten kommen. Werden hingegen die Zonen eines multifokalen Spiegels so
5 ausgebildet, daß sich zwischen benachbarten Zonen Stufen befinden, die bewirken, daß die von einzelnen Zonen in die Brennpunkte gelangenden Wellen Weglängenunterschiede von mindestens der Kohärenzlänge der einfallenden Strahlung aufweisen, so werden solche gegebenenfalls
10 störenden Interferenzerscheinungen unterdrückt.

Wird Strahlung verwendet, für die gewisse Materialien durchlässig sind, das heißt daß ein Brechungsindex für solche Materialien angegeben werden kann, so können
15 Spiegelzonen - analog den obigen Überlegungen - auch mit Materialien verschiedener Brechungsindizes belegt werden, um eine entsprechende Kohärenzlängenkorrektur zu erreichen.

20

P a t e n t a n s p r ü c h e :

- 5 1. Zonenlinse, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens zwei benachbarte Zonen umfaßt, die derart ausgebildet sind, daß jeweils die Differenzen der optischen Weglängen zwischen einem Objektpunkt und einem Bildpunkt von Lichtstrahlen, die durch diese
10 zwei benachbarten Zonen der Linse verlaufen, mindestens gleich der halben Kohärenzlänge des verwendeten Lichts, vorzugsweise mindestens gleich der Kohärenzlänge des verwendeten Lichts, sind.
- 15 2. Zonenlinse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zwischen einem Objektpunkt und dem (jedem der) zugehörigen Bildpunkt(e) jeweils auftretenden Differenzen der optischen Weglängen von Lichtstrahlen, die durch zwei benachbarte Zonen
20 der Linse verlaufen, mindestens gleich der Kohärenzlänge des verwendeten Lichts sind.
- 25 3. Zonenlinse nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Weglängendifferenzen aller Lichtstrahlen, die durch jeweils zwei verschiedene Zonen der Linse verlaufen, mindestens gleich der Kohärenzlänge des verwendeten Lichts sind.
- 30 4. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei Paralleleinfall des Lichts die zwischen einer zur Einfallsrichtung senkrechten Ebene und dem (jedem der) zugehörigen Brennpunkt(e) jeweils auftretenden Differenzen der
35 optischen Weglängen von Lichtstrahlen, die durch

zwei benachbarte Zonen der Linse verlaufen, mindestens gleich der Kohärenzlänge des verwendeten Lichts sind.

- 5 5. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß achsparallele Lichtstrahlen in zwei benachbarten Zonen optische Weglängen innerhalb der Linse durchlaufen, deren Differenzen jeweils mindestens gleich der Kohärenzlänge, vorzugsweise mindestens der dreifachen Kohärenzlänge des verwendeten Lichts sind.
- 10
6. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der (einer der) konjugierte(n) Bildpunkt(e) reell ist.
- 15
7. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der (einer der) konjugierte(n) Bildpunkt(e) virtuell ist.
- 20
8. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte Zonen der Linse eine unterschiedliche Dicke des Linzenmaterials aufweisen, wobei zwischen den Zonen Stufen vorgesehen sind.
- 25
9. Zonenlinse nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Stufenhöhe zwischen benachbarten Zonen der Linse mindestens $|\lambda^2/(\Delta\lambda(n_c - n_i))|$ beträgt, wobei λ die mittlere Wellenlänge des verwendeten Lichts, $\Delta\lambda$ die Halbwertbreite der Wellenlängenverteilung des verwendeten Lichts, n_c den Brechungsindex des Linzenmaterials und n_i den Brechungsindex des an die Linse angrenzenden Mediums bezeichnen.
- 30
- 35

10. Zonenlinse nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei Verwendung von sichtbarem Licht mit einer Kohärenzlänge im Bereich von ca. 1-10 μm die Stufenhöhe gemessen in Mikrometern zwischen benachbarten Zonen der Linse mindestens $5/|(n_c - n_i)|$ beträgt, wobei n_c den Brechungsindex des Linsenmaterials und n_i den Brechungsindex des an die Linse angrenzenden Mediums bezeichnen.
11. Zonenlinse nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Stufenhöhe zwischen benachbarten Zonen der Linse mindestens drei Mikrometer, vorzugsweise mindestens 10 Mikrometer beträgt.
12. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Linse aus nur einem Linsenmaterial besteht.
13. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte Zonen der Linse Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes aufweisen.
14. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Linse zumindest zwei Schichten aus unterschiedlichen Materialien aufweist, wobei zumindest eine zwischen zwei solchen Schichten liegende Grenzfläche zwischen benachbarten Zonen der Linse Stufen aufweist.
15. Zonenlinse nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Stufenhöhe gemessen in Mikrometern zwischen benachbarten Zonen der Linse bei Verwendung von sichtbarem Licht mit einer Kohärenzlänge

im Bereich von ca. 1-10 μm mindestens $5/|(n_1-n_2)|$ beträgt, wobei n_1 und n_2 die Brechungsindizes der Materialien der beiden Schichten bezeichnen.

- 5 16. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die seitlichen Flächen von Stufen zwischen den Zonen lichtabsorbierend ausgebildet sind.
- 10 17. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil der Zonen die Form von konzentrischen Kreisringen aufweist.
- 15 18. Zonenlinse nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine zentrale kreisförmige Zone vorgesehen ist.
- 20 19. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß eine zentrale Zone ellipsenförmig ist und die anderen Zonen durch Ellipsen begrenzt sind, deren Achsen parallel zu den Achsen der Ellipse der zentralen Zone sind.
- 25 20. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Zonen Rechteck-, Quadrat- oder Sechseckform aufweisen.
- 30 21. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Flächeninhalte der Zonen im wesentlichen gleich groß sind.
- 35 22. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Flächeninhalte der Zonen unterschiedlich groß sind.

23. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die nominalen Brechkräfte der einzelnen Zonen gleich sind.
- 5
24. Zonenlinse nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die nominalen Brechkräfte der Zonen gleich Null sind.
- 10
25. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Typen von Zonen vorgesehen sind, wobei alle Zonen eines Typs gleiche nominale Brechkräfte aufweisen und Zonen verschiedener Typen aber unterschiedliche
- 15
- nominale Brechkräfte aufweisen.
26. Zonenlinse nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils Zonen unterschiedlicher Typen unmittelbar benachbart sind.
- 20
27. Zonenlinse nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß für einen Typ von Zonen die optischen Weglängen aller Lichtstrahlen vom Objektpunkt durch eine der Zonen dieses Typs zum zu diesem Typ
- 25
- gehörenden konjugierten Bildpunkt gleich sind.
28. Zonenlinse nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß für verschiedene Typen von Zonen die optischen Weglängendifferenzen von Lichtstrahlen
- 30
- zwischen einem Objektpunkt und einem Bildpunkt, der vorzugsweise einem zum Objektpunkt gehörenden konjugierten Bildpunkt eines der Zonentypen der Linse entspricht, mindestens gleich der Kohärenzlänge des verwendeten Lichts ist.
- 35

29. Zonenlinse nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Weglängen von einem vorgegebenen Bildpunkt auf der Linsenachse durch die Zonen einer dieser Gruppen zum zu dieser Gruppe
5 gehörigen konjugierten Objektpunkt jeweils gleich sind.
30. Zonenlinse nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Weglängendifferenzen je-
10 weils zweier durch verschiedene Zonen der Linse von einem Objektpunkt zu einem Bildpunkt, der vorzugsweise einem zum Objektpunkt gehörenden konjugierten Bildpunkt eines der Zonentypen der Linse entspricht, verlaufender Lichtstrahlen mindestens
15 gleich der Kohärenzlänge des verwendeten Lichts sind.
31. Zonenlinse nach Anspruch 27 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß der Bildpunkt ein Punkt auf
20 der Retina des menschlichen Auges ist.
32. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Medium der Linse ein doppelbrechendes optisches Material ist.
25
33. Zonenlinse nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß das doppelbrechende Material einachsigt ist, wobei die optische Kristallachse des doppelbrechenden Materials im wesentlichen senkrecht auf
30 die Linsenachse steht.
34. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil der Zonen diffraktive Subzonen aufweist, wobei diese
35 Zonen diffraktive Brechkkräfte aufweisen.

35. Verwendung einer Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 34 als ophthalmische Linse.
- 5 36. Verwendung einer Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 34 als optisches Instrument zur achs-unabhängigen Korrektur des Astigmatismus, insbesondere des irregulären Astigmatismus.
- 10 37. Verwendung einer Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 34 als Intraorneallinse.
38. Verwendung einer Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 34 als Kontaktlinse.
- 15 39. Verwendung einer Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 34 als Brillenglas.
40. Verwendung einer Zonenlinse nach einem der Ansprüche 20 1 bis 34 als Intraokularlinse.
41. Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Zonenlinse als integraler Bestandteil des Auges aus der cornealen Schicht des Auges selbst hergestellt ist.
- 25 42. Verwendung einer Zonenlinse nach einem der Ansprüche 1 bis 34 in einem optischen System, vorzugsweise Fernrohr oder Mikroskop.
- 30 43. Zonenspiegel, dadurch gekennzeichnet, daß er mindestens zwei benachbarte Zonen umfaßt, die derart gestaltet sind, daß jeweils die Differenzen der Weglängen zwischen einem Objektpunkt und einem Bildpunkt von Strahlen, die auf diese zwei Zonen
- 35

auftreffen, mindestens gleich der halben Kohärenzlänge der verwendeten Strahlung, vorzugsweise mindestens gleich der Kohärenzlänge der verwendeten Strahlung, sind.

5

44. Zonenspiegel nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß bei Paralleleinfall der Strahlung die zwischen einer zur Einfallsrichtung senkrechten Ebene und dem (jedem der) zugehörigen Brennpunkt(e) jeweils auftretenden Differenzen der Weglängen von Strahlen, die von verschiedenen Zonen reflektiert werden, mindestens gleich der Kohärenzlänge der verwendeten Strahlung sind.
- 10

Fig. 1

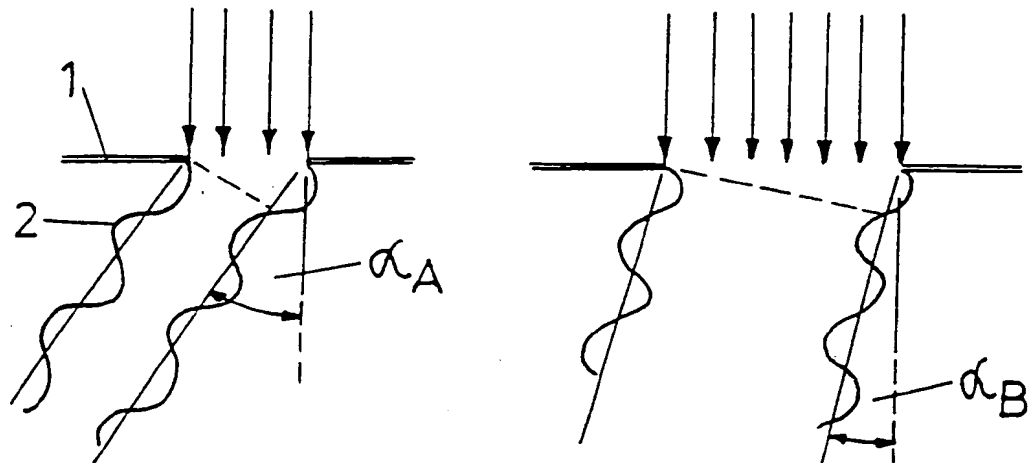
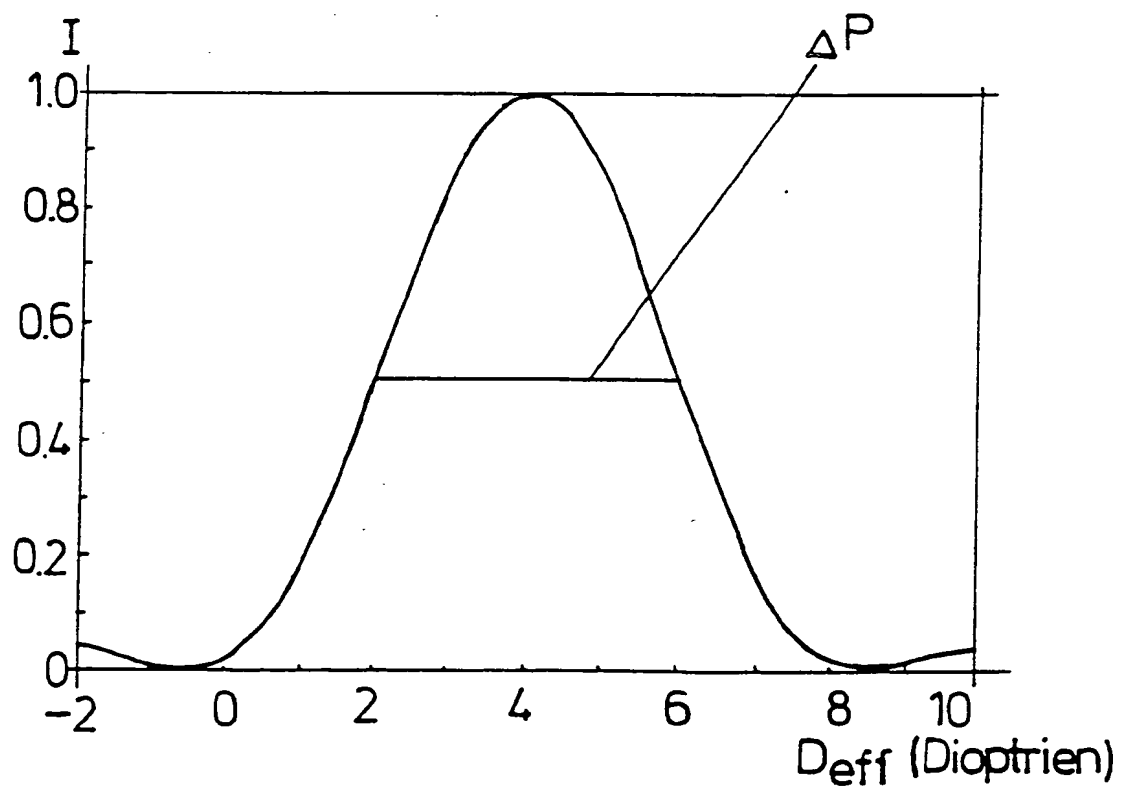


Fig. 2



ERSATZBLATT (REGEL 26)

Fig. 3
(Dioptrien)

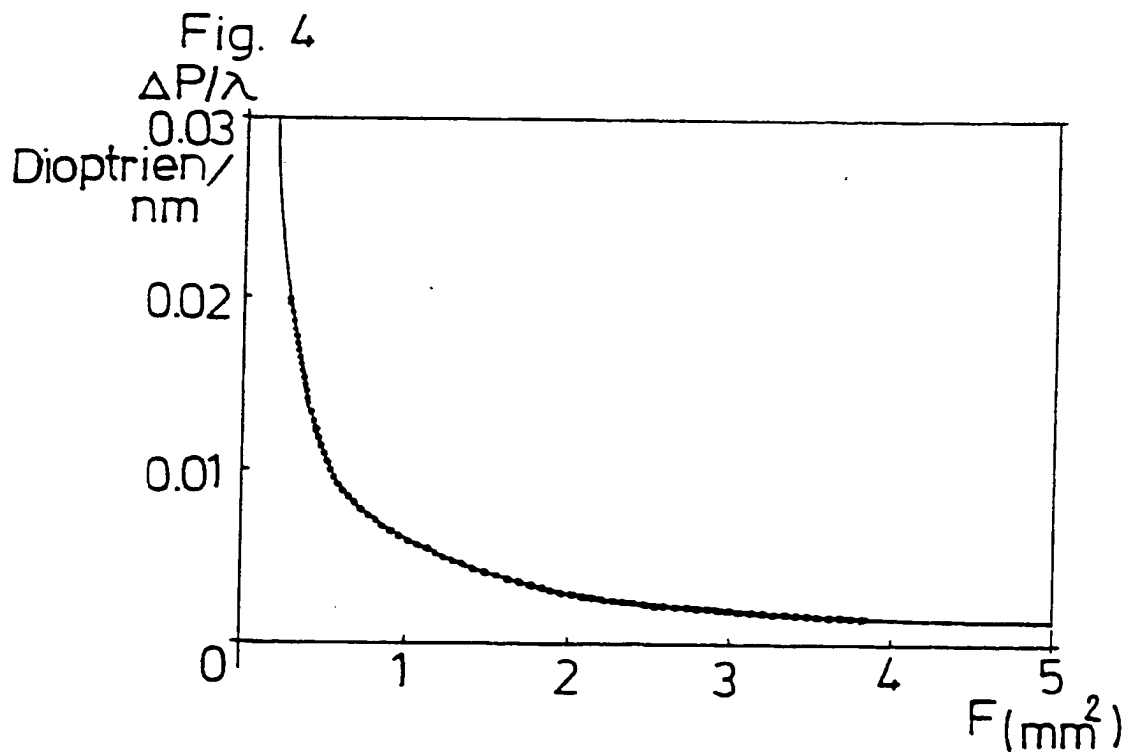
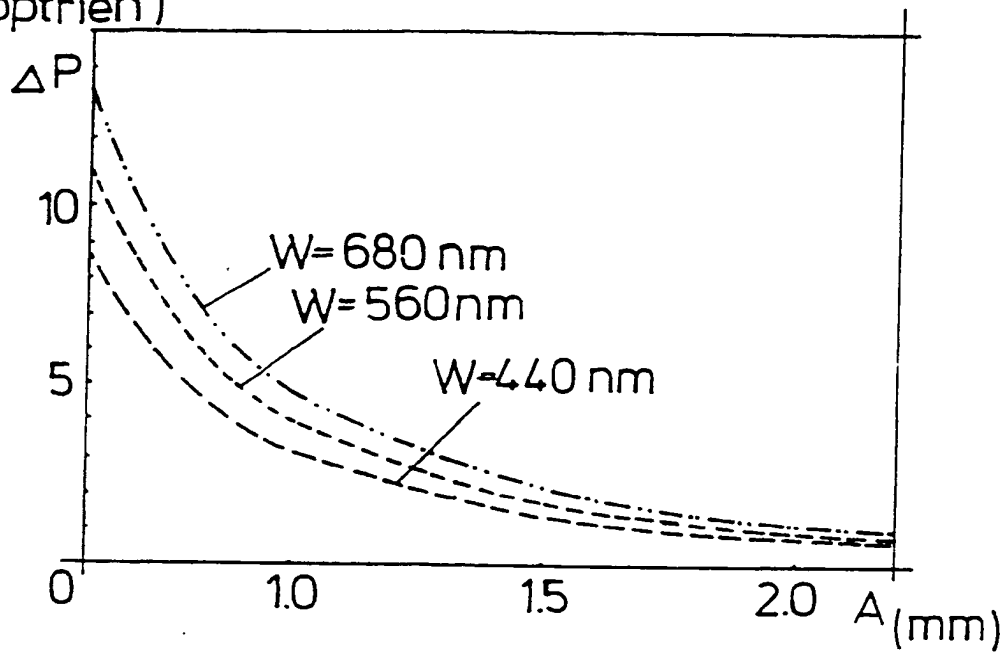


Fig. 5

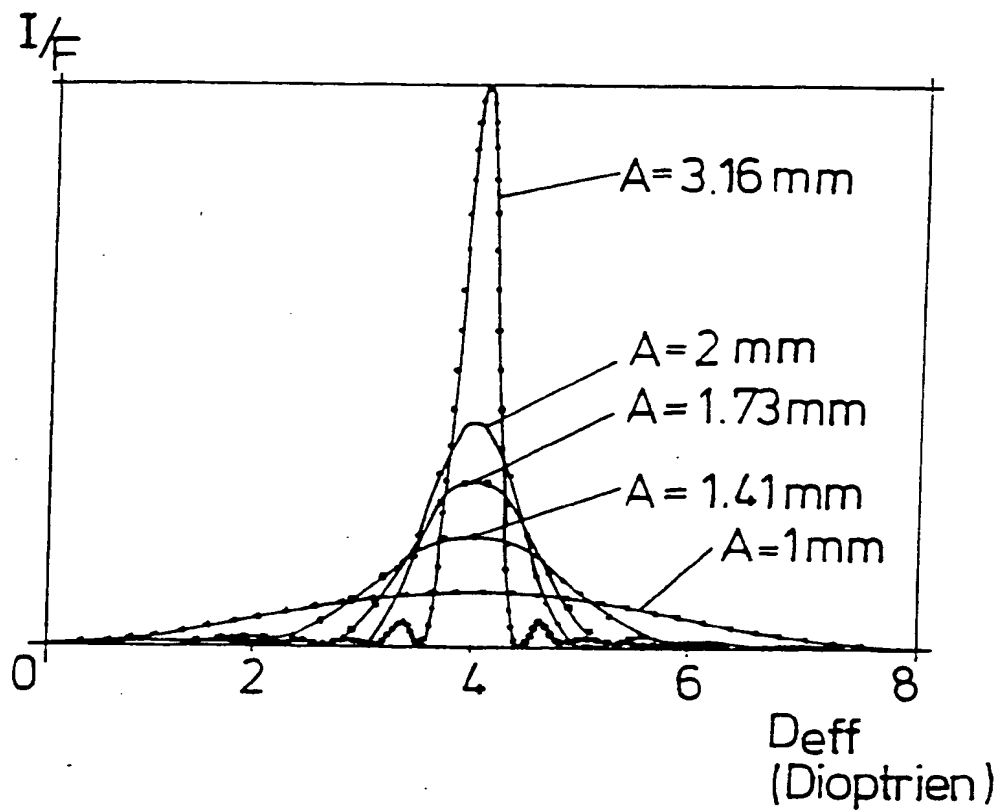


Fig. 6

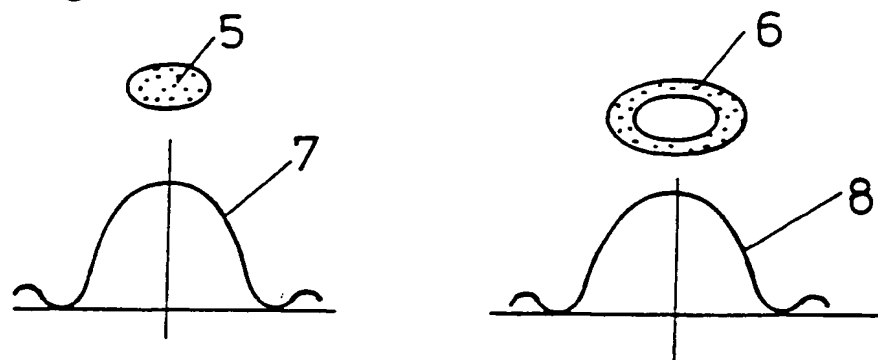


Fig. 7

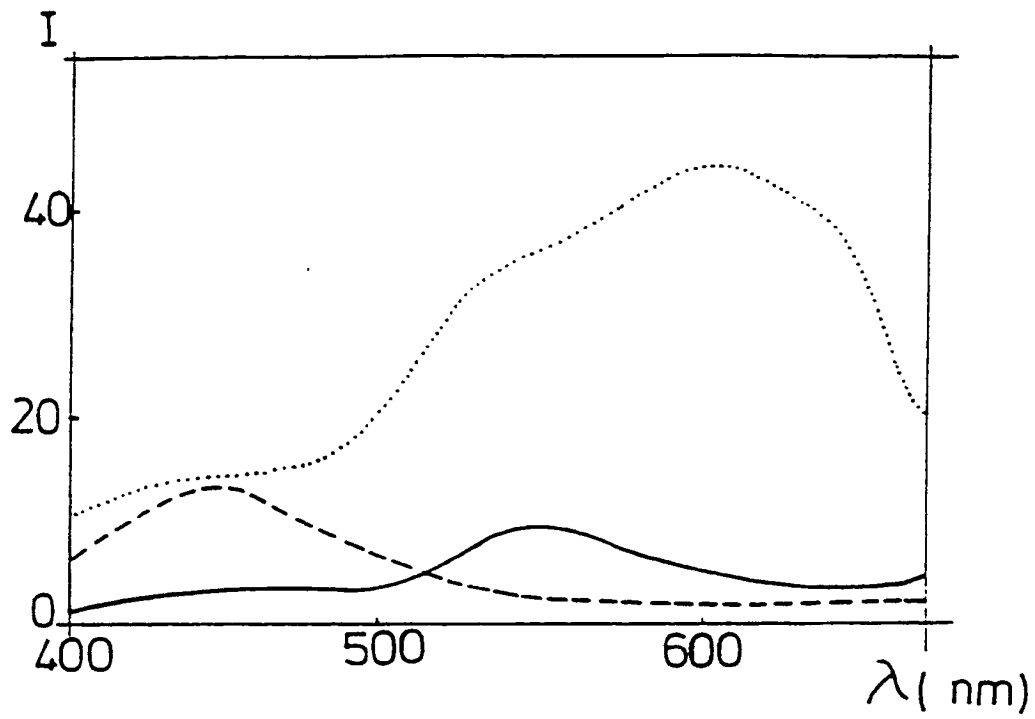
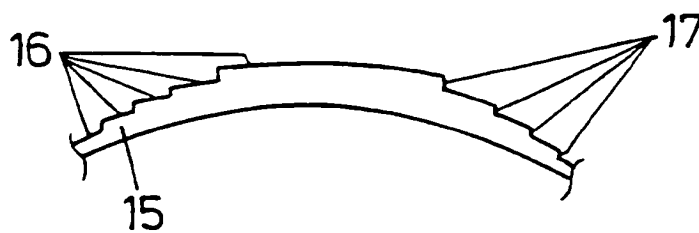


Fig. 8a



ERSATZBLATT (REGEL 26)

Fig. 8b

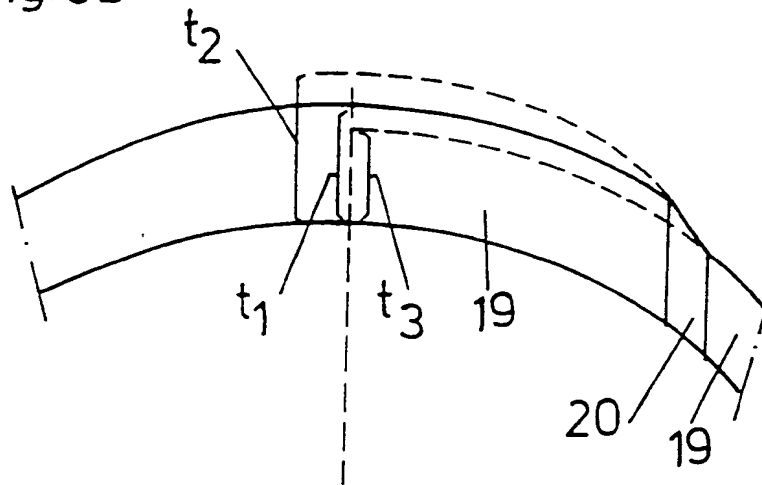


Fig. 9

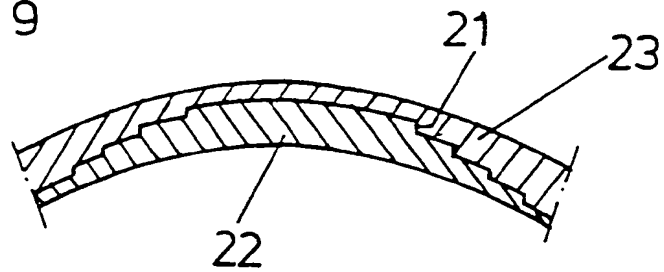
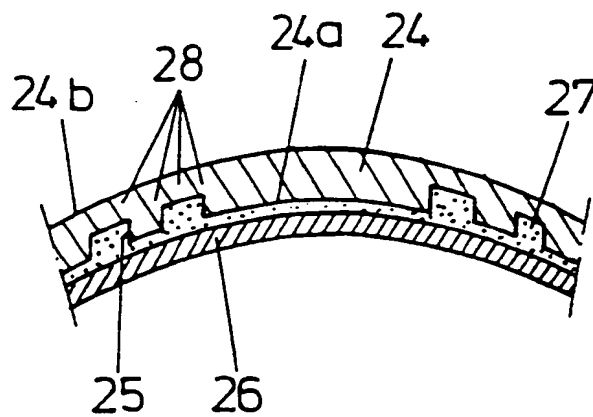


Fig. 10



ERSATZBLATT (REGEL 26)

Fig. 11

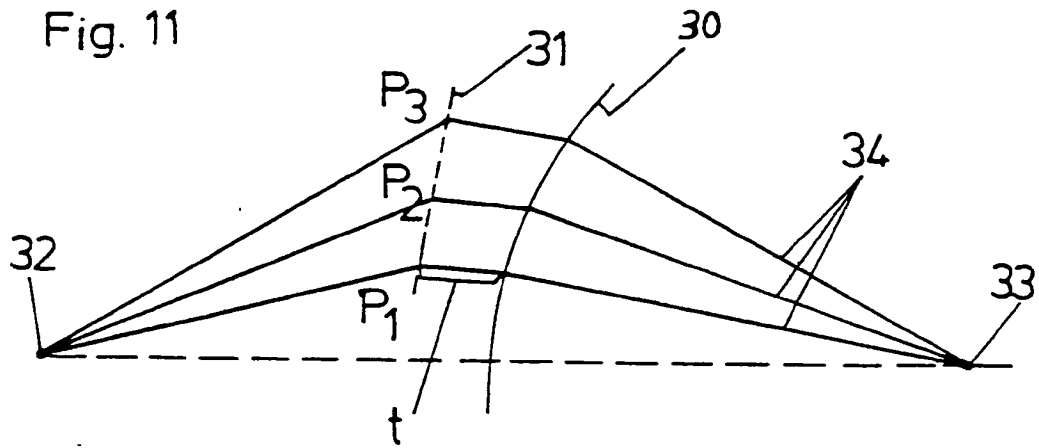


Fig. 12

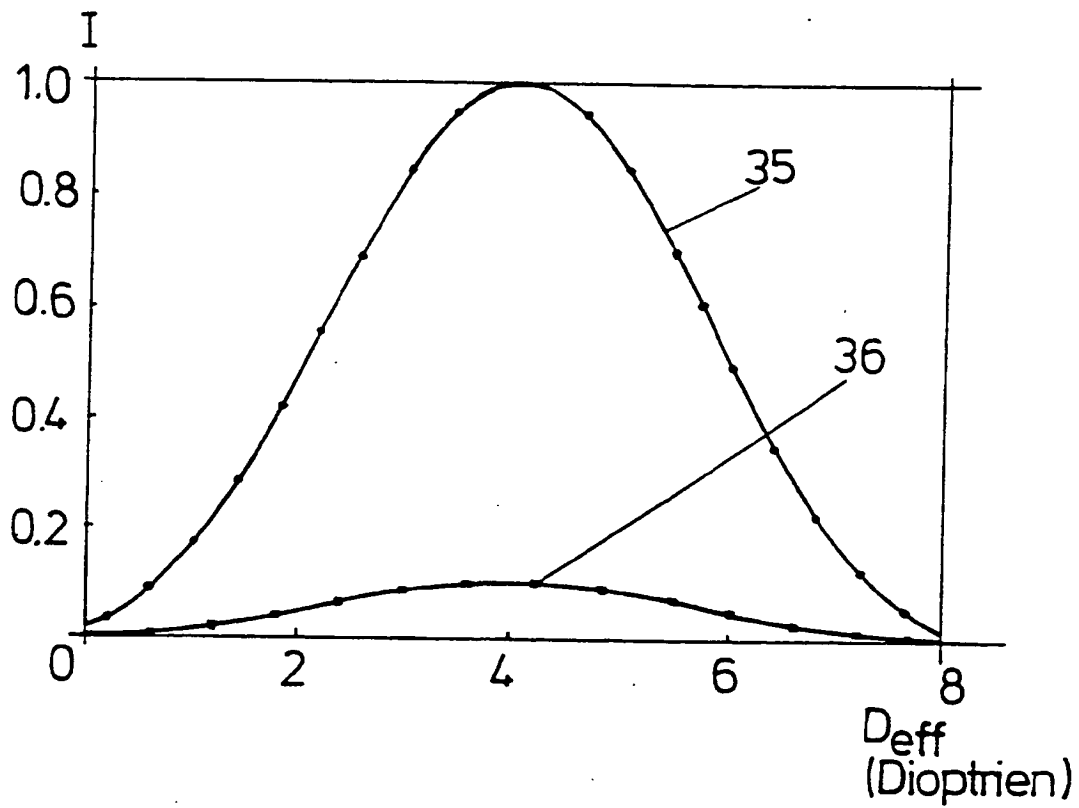


Fig. 13a

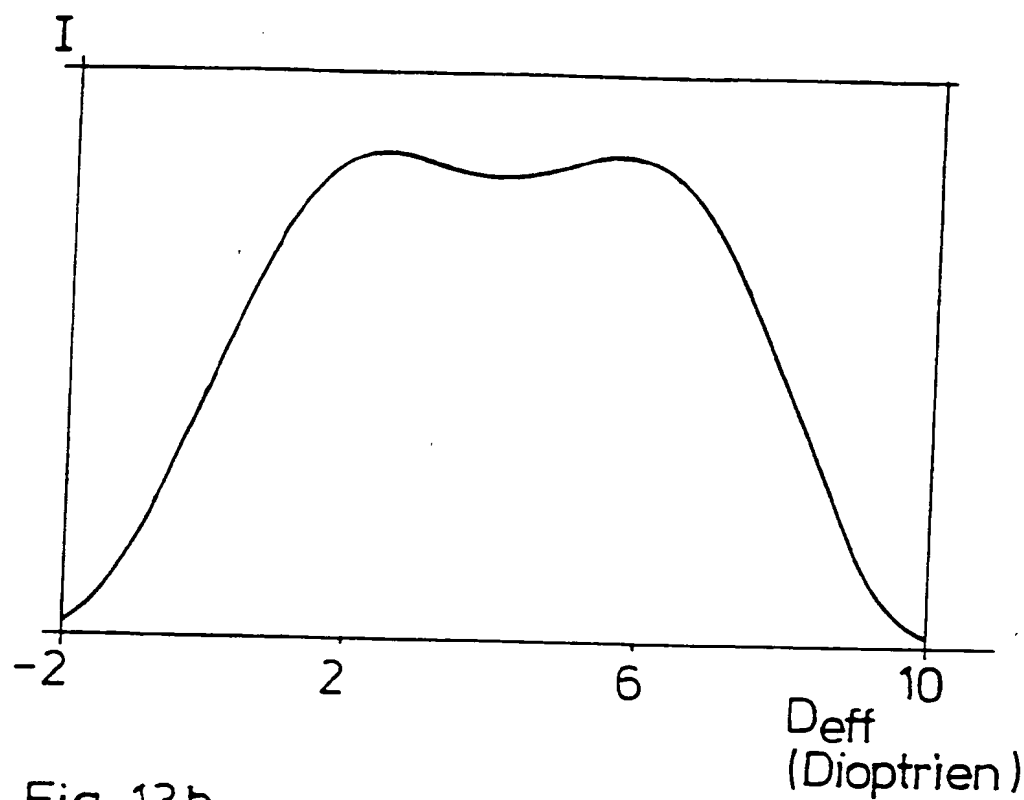
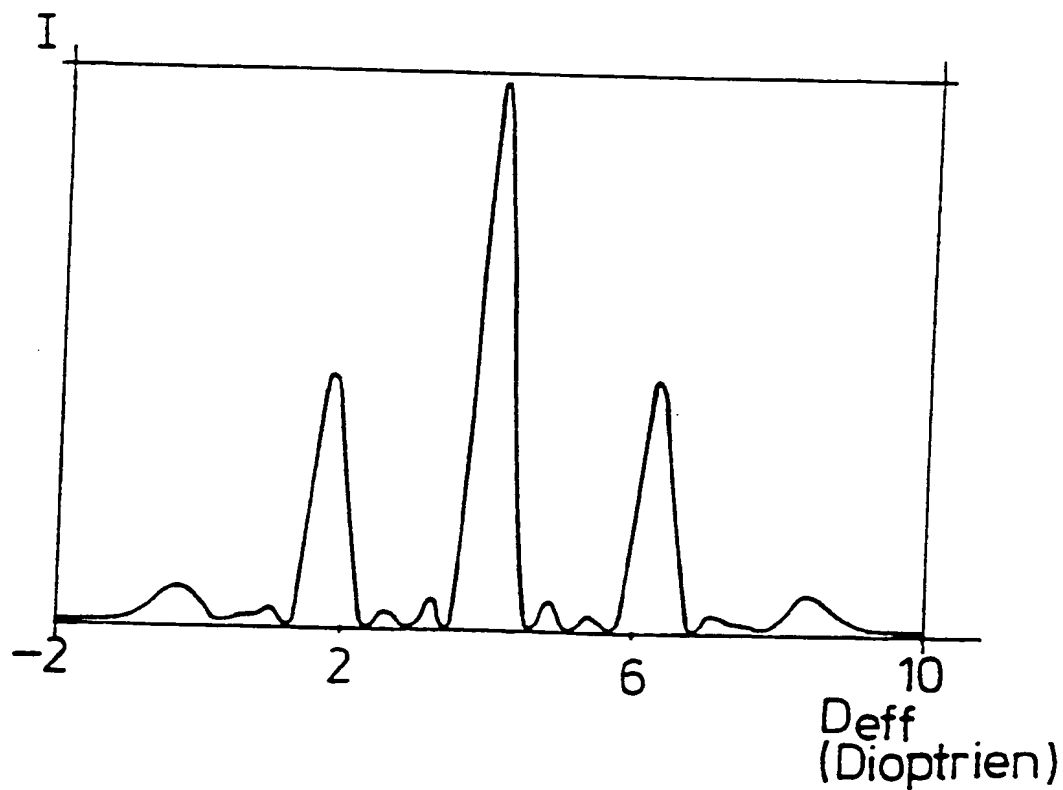


Fig. 13b



ERSATZBLATT (REGEL 26)

Fig. 14

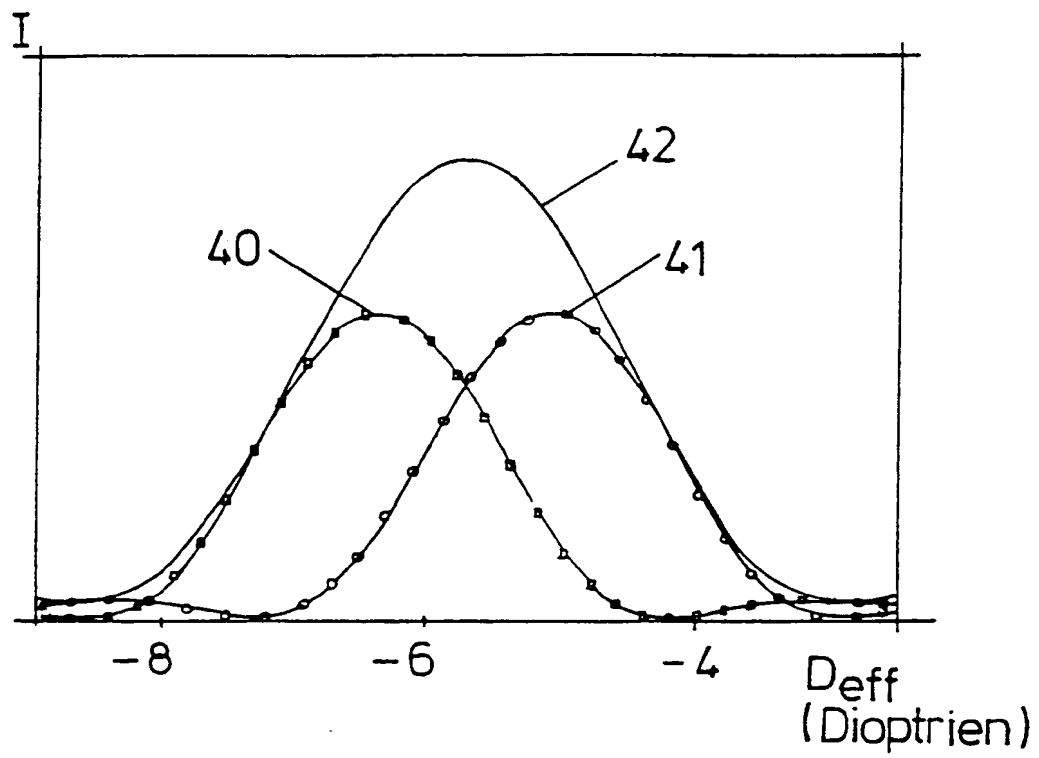


Fig. 15

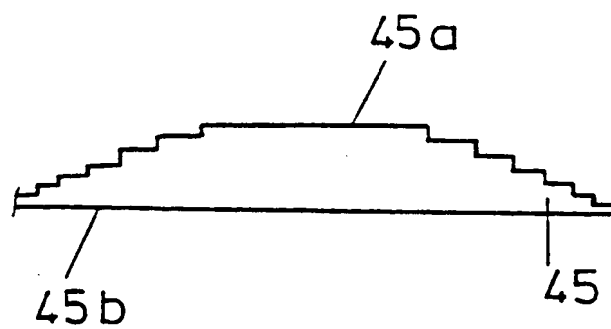


Fig. 16

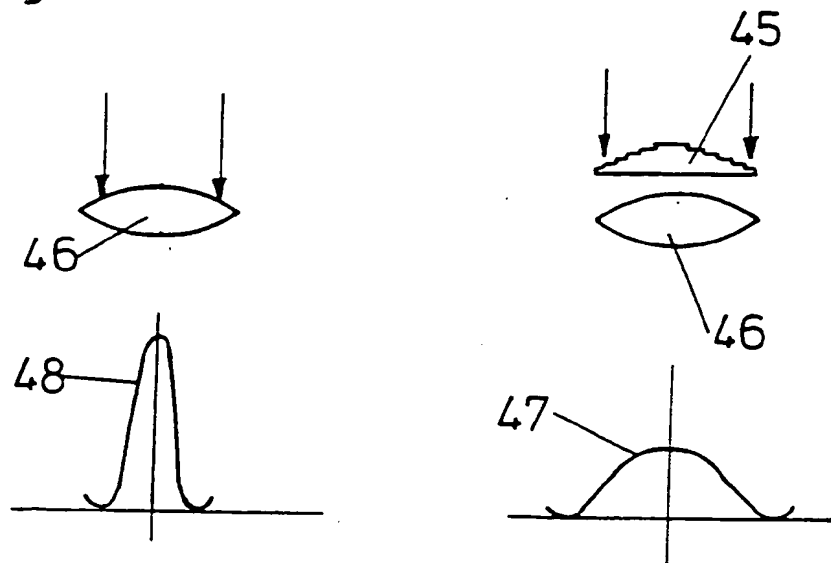


Fig. 17

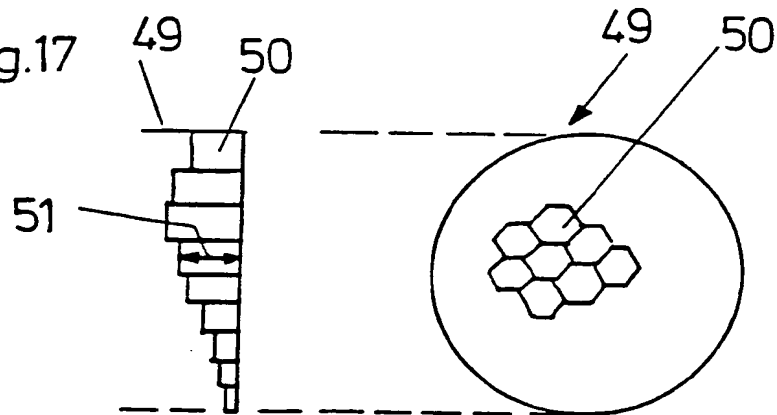
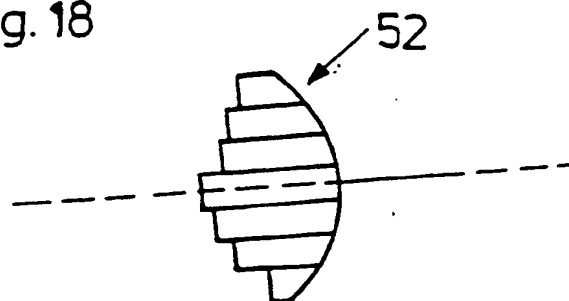


Fig. 18



ERSATZBLATT (REGEL 26)

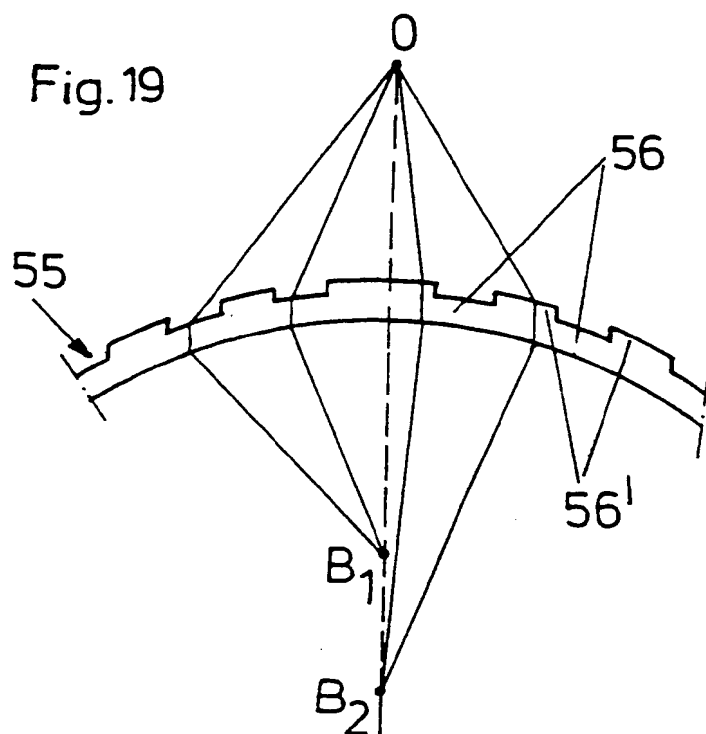


Fig. 20

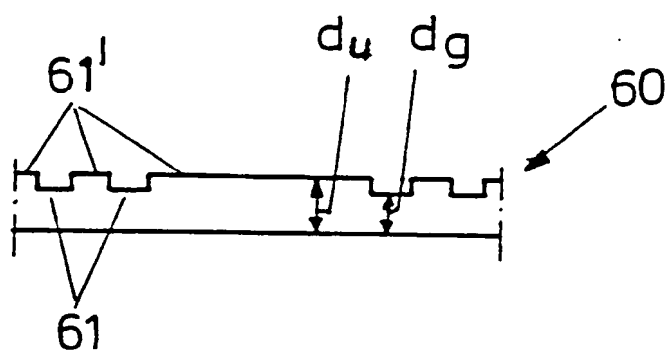


Fig. 21

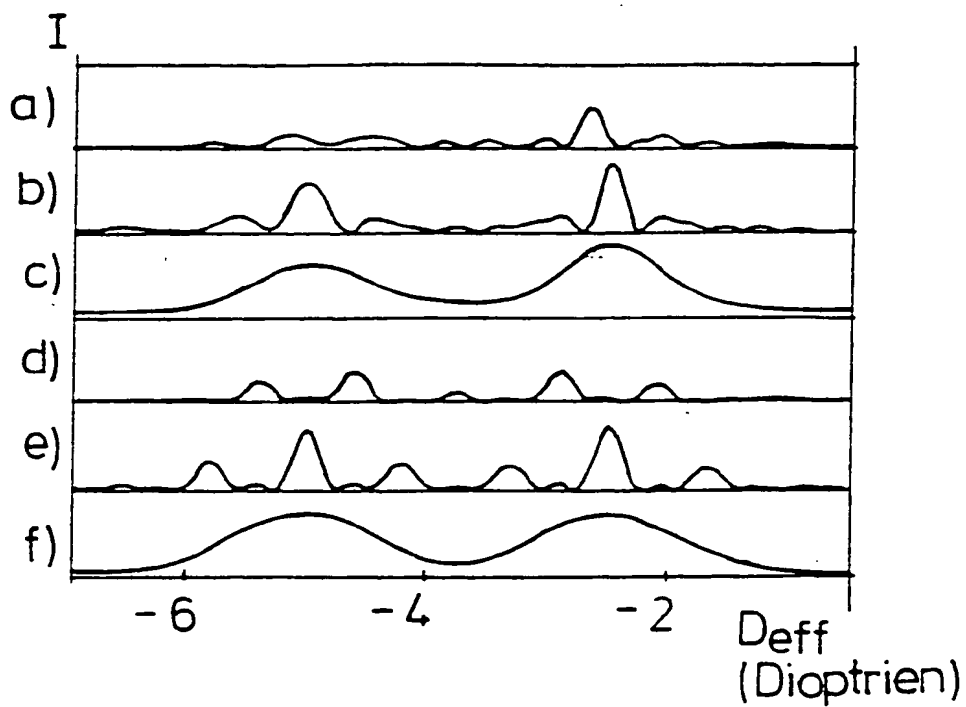


Fig. 22

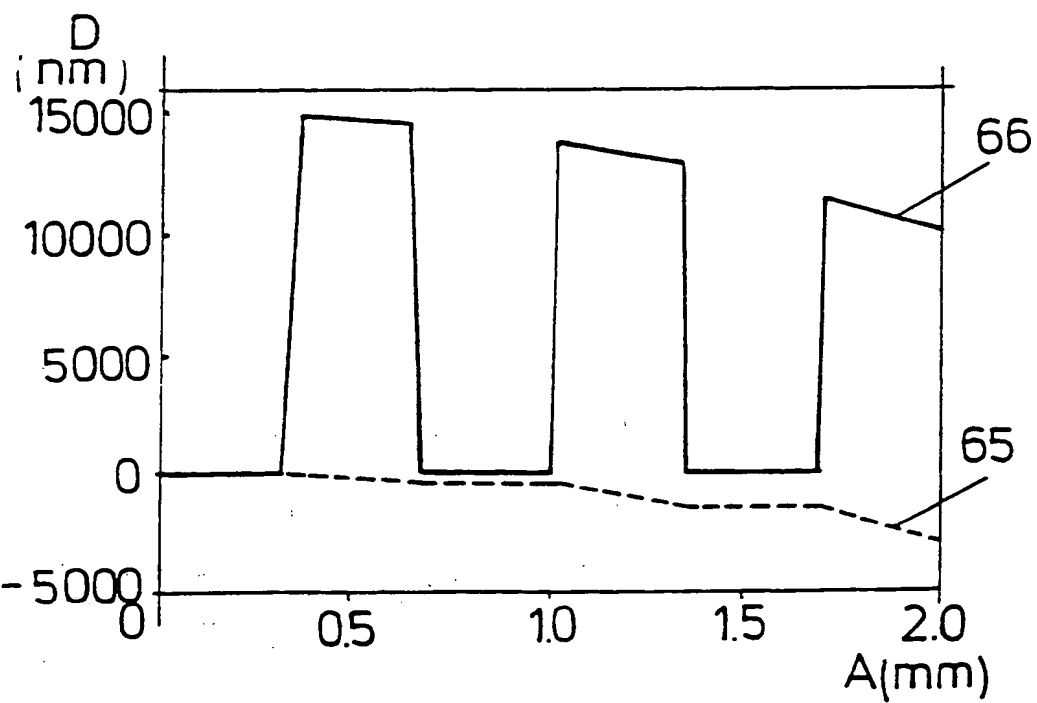


Fig. 23

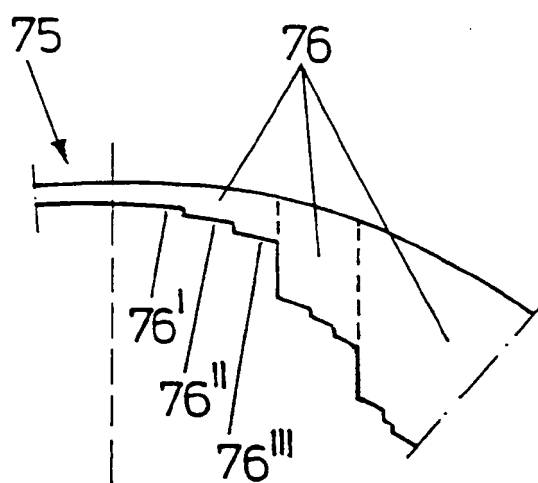


Fig. 24

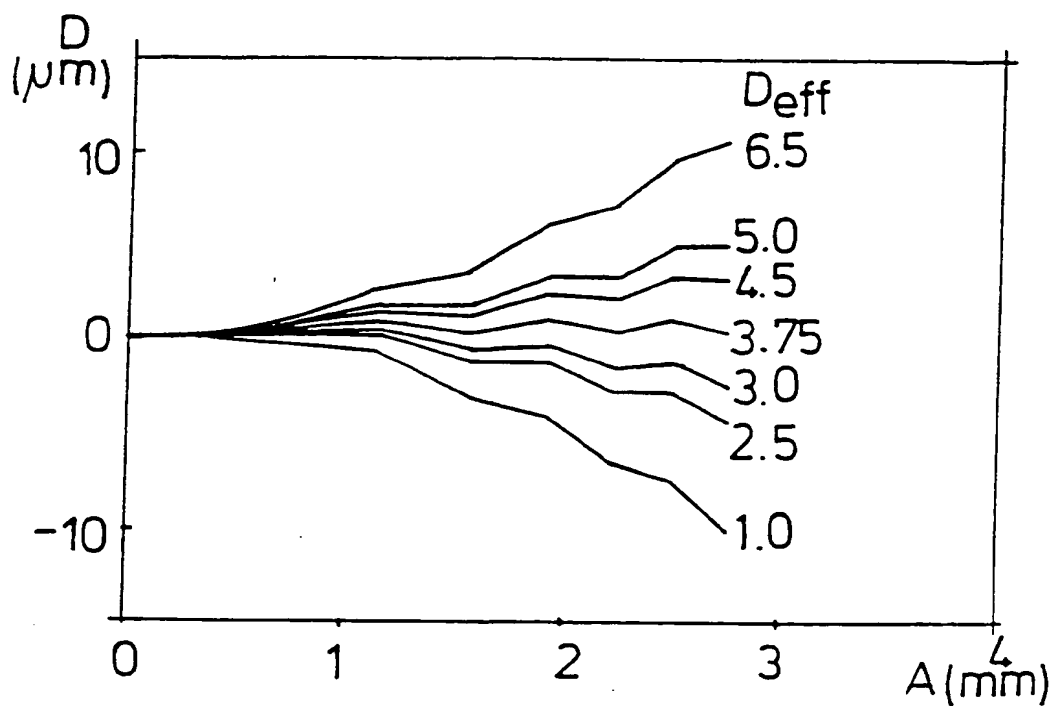
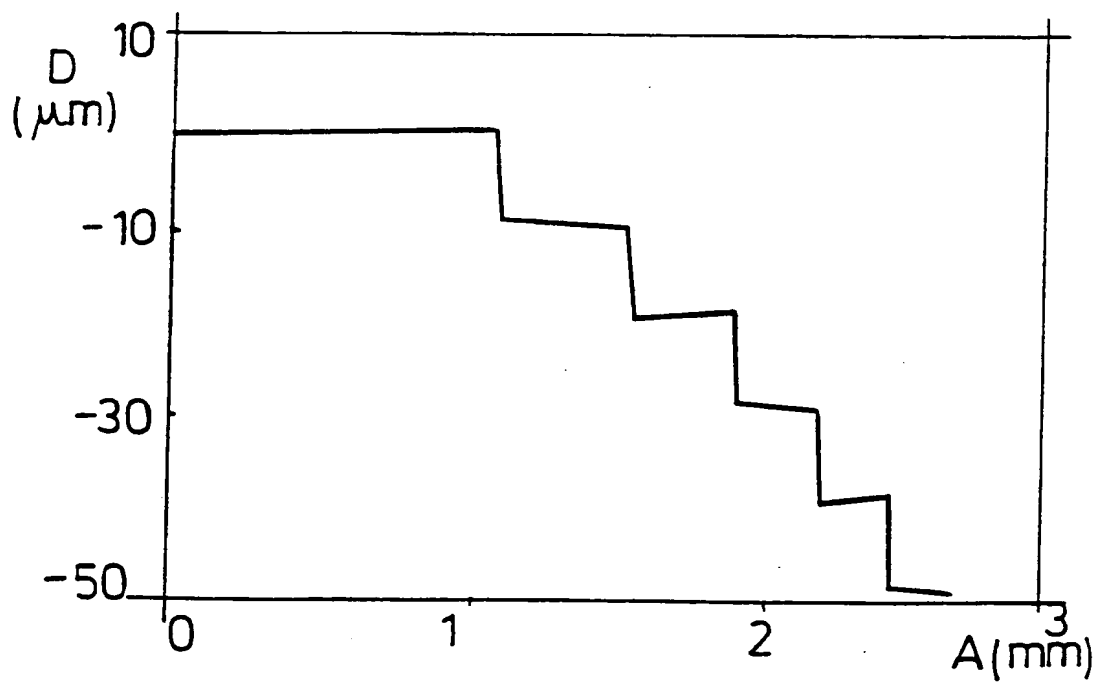


Fig. 25



ERSATZBLATT (REGEL 26)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/AT 95/00051

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G02B5/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G02B G02C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006 no. 265 (P-165) ,24 December 1982 & JP,A,57 161721 (NIPPON DENSHIN DENWA KOSHA) 5 October 1982, see abstract ---	1
A	US-A-4 775 229 (Y. ICHIHARA) 4 October 1988 see abstract; claims 1,7; figures 8,9 ---	1
A	EP-A-0 367 878 (COHEN ALLEN L) 16 May 1990 see abstract; claim 1; figures 15-17 ---	1
A	EP-A-0 375 152 (MINNESOTA MINING & MFG) 27 June 1990 see abstract; figure 1 --- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 June 1995

Date of mailing of the international search report

21.06.95

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Van Doremalen, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter: al Application No
PCT/AT 95/00051

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011 no. 291 (P-618) ,19 September 1987 & JP,A,62 085229 (NIPPON KOGAKU KK) 18 April 1987, see abstract	43
A	DE,A,41 30 092 (NIPOX K K) 1 October 1992 see abstract; figure 1	43

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/AT 95/00051

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-4775229	04-10-88	JP-B- 6058481 JP-A- 61193136	03-08-94 27-08-86
EP-A-0367878	16-05-90	US-A- 5017000 AU-B- 623343 AU-A- 2502088 CA-A- 1318799 US-A- 5121979 US-A- 5144483	21-05-91 14-05-92 17-05-90 08-06-93 16-06-92 01-09-92
EP-A-0375152	27-06-90	US-A- 4900129 AU-B- 617557 AU-A- 4537789 CA-A- 2003077 DE-D- 68921967 ES-T- 2070182	13-02-90 28-11-91 21-06-90 16-06-90 04-05-95 01-06-95
DE-A-4130092	01-10-92	JP-A- 4242703 US-A- 5191479	31-08-92 02-03-93

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter nales Aktenzeichen
PCT/AT 95/00051

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G02B5/18

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 G02B G02C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006 no. 265 (P-165), 24. Dezember 1982 & JP, A, 57 161721 (NIPPON DENSHIN DENWA KOSHA) 5. Oktober 1982, siehe Zusammenfassung ---	1
A	US-A-4 775 229 (Y. ICHIHARA) 4. Oktober 1988 siehe Zusammenfassung; Ansprüche 1,7; Abbildungen 8,9 ---	1
A	EP-A-0 367 878 (COHEN ALLEN L) 16. Mai 1990 siehe Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildungen 15-17 ---	1
A	EP-A-0 375 152 (MINNESOTA MINING & MFG) 27. Juni 1990 siehe Zusammenfassung; Abbildung 1 ---	1
-/-		

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- | | |
|--|---|
| <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> | <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> |
|--|---|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Juni 1995

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

21. 06. 95

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Van Doremalen, J

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/AT 95/00051

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011 no. 291 (P-618) ,19.September 1987 & JP,A,62 085229 (NIPPON KOGAKU KK) 18.April 1987, siehe Zusammenfassung -----	43
A	DE,A,41 30 092 (NIPOX K K) 1.Oktober 1992 siehe Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	43

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT 95/00051

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-4775229	04-10-88	JP-B- 6058481 JP-A- 61193136	03-08-94 27-08-86
EP-A-0367878	16-05-90	US-A- 5017000 AU-B- 623343 AU-A- 2502088 CA-A- 1318799 US-A- 5121979 US-A- 5144483	21-05-91 14-05-92 17-05-90 08-06-93 16-06-92 01-09-92
EP-A-0375152	27-06-90	US-A- 4900129 AU-B- 617557 AU-A- 4537789 CA-A- 2003077 DE-D- 68921967 ES-T- 2070182	13-02-90 28-11-91 21-06-90 16-06-90 04-05-95 01-06-95
DE-A-4130092	01-10-92	JP-A- 4242703 US-A- 5191479	31-08-92 02-03-93

